

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Analýza a optimalizace výroby svařovaných vakuových komor

Analysis and Optimization of Welded Vacuum Chambers

Student:  
Vedoucí diplomové práce:

Pavel Křepelka  
Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2012

## Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Křepelka**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Analýza a optimalizace výroby svařovaných vakuových komor**  
**Analysis and Optimization of Welded Vacuum Chambers**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte studii materiálů a technologií používaných při výrobě vakuových komor.
2. Proveďte analýzu současné výroby a specifikujte kritické operace.
3. Navrhněte vhodný typ a rozsah nedestruktivních kontrol.
4. Navrhněte rozsah nutných zkoušek pro kvalifikaci technologických postupů svařování.
5. Proveďte vyhodnocení navržených opatření a diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

HRIVŇÁK, I. *Teoria zvariteľnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.  
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.  
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....21.5.2012.....



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....21.5.2012.....



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:  
Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pavel Křepelka  
Schweitzerova 66, Olomouc, 77900

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KŘEPELKA, P. *Analýza a optimalizace výroby svařovaných vakuových komor: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 49 s. Vedoucí práce: Ochodek, V.

Tématem bakalářské práce je analýza a odstranění vad svařování homogenních a heterogenních svarových spojení při výrobě vakuových komor. Analýzou stávajících technologických postupů, jejich posouzením a návrhem nápravných opatření.

V teoretické části jsou uvedeny informace z oblasti svařitelnosti materiálů, svařovacích technologií TIG a MIG, volbou přídavných materiálů a ochranných plynů používaných při svařování homogenních a heterogenních svarových spojení materiálů.

V praktické části je vypracovaná analýza aktuálně použitých technologií při svařování s následnou analýzou jejich výsledků a vad. S následným doporučením změn a návrhem nového technologického postupu.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

KŘEPELKA, P. *Analysis and Optimization of Welded Vacuum Chambers: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical T, Department of Mechanical Technology, 2012, 49 p. Thesis head: Ochodek, V.

The theme of this thesis is analyzing and elimination of welding defects in homogenous and heterogenous weld joints at vacuum chambers manufacturing. By analyzing existing technological processes, their assessment and design of remedial measures.

The theoretical part provides information from the field of the weldability of materials, welding technologies TIG and MIG, selection of additional materials and protective gasses used in welding of homogeneous and heterogeneous materials weld joints.

The practical part includes the analysis of technologies currently used in the welding and the subsequent analysis of their results and defects. There are also recommendations and a draft of a new technological process.

## OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....	8
1. ÚVOD .....	9
2. CHARAKTERISTIKA SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE .....	10
3. ANALÝZA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ PŘI KONSTRUKCI .....	13
3.1 Materiál 1.4307 .....	13
3.2 Materiál S235 JR .....	14
4. ANALÝZA SVAŘITELNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ .....	15
4.1 Svařitelnost vysokolegovaných ocelí .....	15
4.2 Svařitelnost heterogenních spojů .....	17
5. POUŽITÉ TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ .....	19
5.1 Svařování technologií TIG .....	19
5.1.1 Přídavné materiály při svařování technologií TIG .....	22
5.1.2 Ochranné plyny při svařování technologií TIG .....	22
5.2 Svařování technologií MAG .....	22
5.2.1 Přídavné materiály při svařování technologií MAG .....	24
5.2.2 Ochranné plyny při svařování technologií MAG .....	25
6. POUŽITÉ SVAŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ, PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY A OCHRANNÉ PLYNY .....	25
6.1 Svářecí zařízení TIG .....	25
6.2 Přídavný materiál TIG .....	26
6.3 Ochranný plyn TIG .....	26
6.4 Svářecí zařízení MIG/MAG .....	27
6.5 Přídavný materiál MAG .....	27
6.6 Ochranný plyn MAG .....	28
7. KRITICKÉ OPERACE .....	29
7.1 Trhliny za horka .....	30
7.2 Návrhy k zamezení vzniku trhlin za horka .....	32
8. NORMA ČSN EN ISO 3834 .....	34

9. SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ - WPS .....	36
9.1 Zkoušky nutné pro kvalifikaci postupů svařování.....	36
9.2 Svařovací napětí.....	38
9.3 Svařovací proud.....	38
10. NÁVRH KONTROL A ZKOUŠEK .....	40
10.1 Kontroly a zkoušky před svařováním.....	40
10.2 Kontroly a zkoušky během svařování .....	40
10.3 Kontroly a zkoušky po svařování .....	41
10.4 Hodnocení kvality svarů .....	42
11. ZÁVĚR .....	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	47

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

TIG	Svařování netavící se elektrodou	[ - ]
WIG	Svařování netavící se elektrodou	[ - ]
GTAW	Svařování netavící se elektrodou	[ - ]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[ - ]
Cr <sub>E</sub>	Ekvivalent chromu	[ % ]
Ni <sub>E</sub>	Ekvivalent niklu	[ % ]
MIG	Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	[ - ]
MAG	Svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	[ - ]
ČSN	Česká státní norma	[ - ]
EN	Evropská norma	[ - ]
DIN	Německá národní norma	[ - ]
pWPS	Předběžný návrh postupu svařování	[ - ]
WPS	Specifikace postupu svařování	[ - ]
WPQR	Kvalifikace postupu svařování	[ - ]
P	Výkon	[ W ]
I	Elektrický svařovací proud	[ A ]
U	Elektrické svařovací napětí	[ V ]
Q	Teplo	[kJ.mm <sup>-1</sup> ]



## 1. ÚVOD

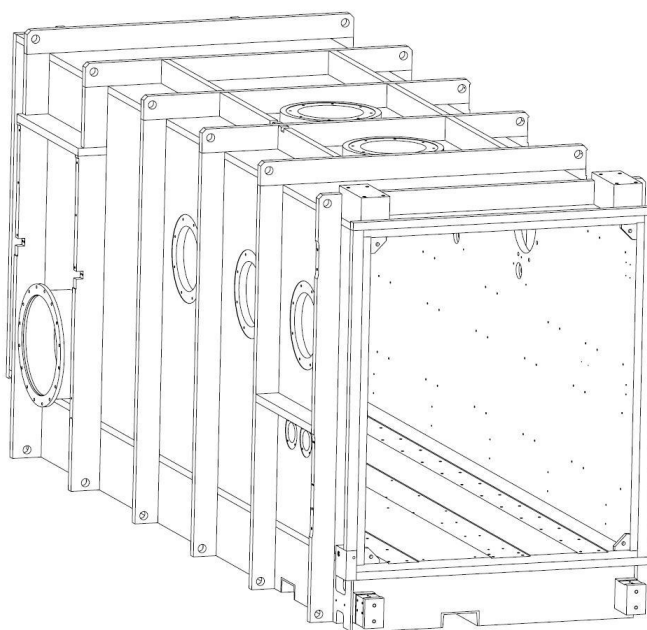
Tématem této práce je analyzování a aktualizace aktuální výroby vakuových komor pro svařování elektronovým paprskem a navržení změn procesů k zajištění požadované kvality svarů. Svařování je technologický proces, při němž konečný výsledek úrovně jakosti nemůže být plně ověřen kontrolou a zkoušením, proto je třeba klást důraz na to, aby tyto metody byly prováděny nejefektivnějším způsobem a byla vykonávána odpovídající kontrola všech operací procesu. Jakost výrobku nemůže být zajištěna kontrolou, ale musí být jeho součástí. I nejrozsáhlejší nedestruktivní zkoušky nemohou zlepšit jakost svařovaného výrobku. Je proto nezbytné zajistit kontroly, od fáze konstrukčního návrhu, přes výběr materiálu, výrobu a následnou kontrolu, aby u výrobku během výroby a v provozu nevznikaly vážnější obtíže. Nesprávný konstrukční návrh výroby může způsobit například vážné a nákladné obtíže ve výrobě, nebo během provozu. Chybný návrh technologických postupů může mít za následek problémy, jako je například praskání svarů.

Při svařování se často vyskytují vady svaru, obzvláště v oblasti svařování heterogenních materiálů, jako jsou například praskliny za horka. Tyto vady může způsobovat spousta faktorů, proto je třeba mít správně zvolené technologické postupy. Vady svarů často způsobují náročné dodatečné vícepráce na opravné svařování, nebo v horším případě dokonce reklamace zákazníka. Cílem této práce je najít způsob, jak výskyt těchto vad eliminovat.

Prvním krokem bude analýza používaných materiálů při konstrukci, definování jejich chemických a mechanických vlastností s následnou analýzou jejich svařitelnosti. Dále bude provedena analýza aktuálních technologií a technologických postupů, které jsou používány při svařování. V rámci těchto dvou částí bude třeba identifikovat problémy, které vznikají v procesu svařování, a zároveň budou definovány cílové očekávané hodnoty, kterých bude potřeba dosáhnout. V následné analýze bude cílem nelézt skutečné příčiny problémů. Analyzováním těchto příčin a jejich ověřením, abychom si potvrdili, že získané informace jsou relevantní k identifikované příčině problémů. V dalším kroku se pokusíme nalézt nejlepší způsob, jakým by bylo možné dosáhnout zlepšení technologie. Vypracujeme návrh technologického postupu svařování. Definujeme přínosy, které nám tato nově navržená technologie přináší. Polední stěžejní fáze budou doporučení zavedení změn podle normy ČSN EN ISO 3834 do postupu výroby.

## 2. CHARAKTERISTIKA SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE

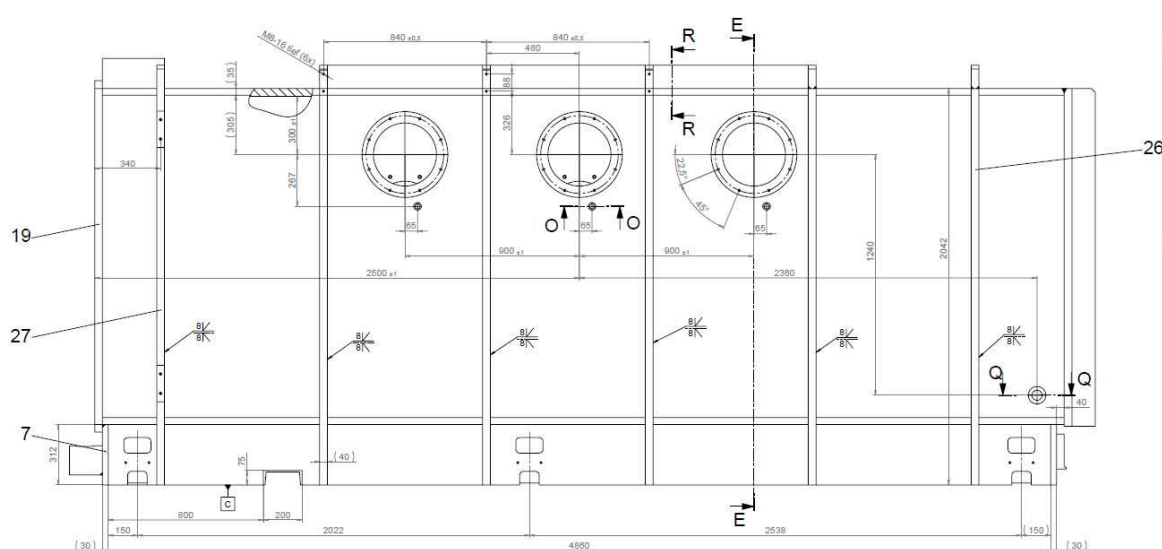
Tento typ svařovaných vakuových komor se používá pro svařování elektronovým paprskem. Komory se vyrábějí podle požadavků pro následné využití ve výrobě v různých provedeních a velikostech o objemu od jednoho do dvanácti metrů krychlových. Komory menších rozměrů jsou často používány v automobilovém průmyslu v plně sériovém provozu. Tyto komory mohou být vybaveny automatickým zakládáním robotem a mají jen jedno určení. Po celou dobu provozu se v nich vyrábí jen jeden výrobek. Větší rozměry komor slouží nejčastěji v čistě kusové výrobě různých vědeckých organizací. Tyto komory bývají variabilnější. Komora je vybavena pojezdy stolu pro ruční zakládání a je vybavena variabilním upevňováním elektronových svářeček. Takto je možné svařovat ze stran, či shora. Společným bodem, který musí všechny vakuové komory jakýchkoliv konstrukcí splňovat, je hlavně dosažení čistého prostředí uvnitř komory bez přítomnosti vzduchu pro zamezení kontaminace svarové lázně plyny, které by mohli ovlivnit kvalitu následného produktu. Při konstrukci vakuových je třeba dbát na to, aby komora splňovala takové vlastnosti, které zajistí ideální podmínky pro zhotovení kvalitního svarového spoje.



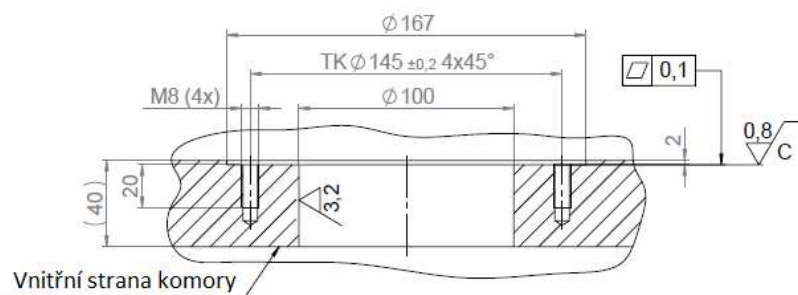
**Obr. 1 - Příklad konstrukce vakuové komory**

Výroba samotných komor je, co se objemu týče, kusová. Dokončeno je v průběhu měsíce vždy 5-10 výrobků. Doba výroby komory probíhá jeden až tři měsíce a vyrábí se současně několik kusů v různém stádiu výroby paralelně. Tyto komory se mohou, co se konstrukce týče shodovat, ale často se stává, že konstrukce bývá buď z části, nebo zcela odlišná.

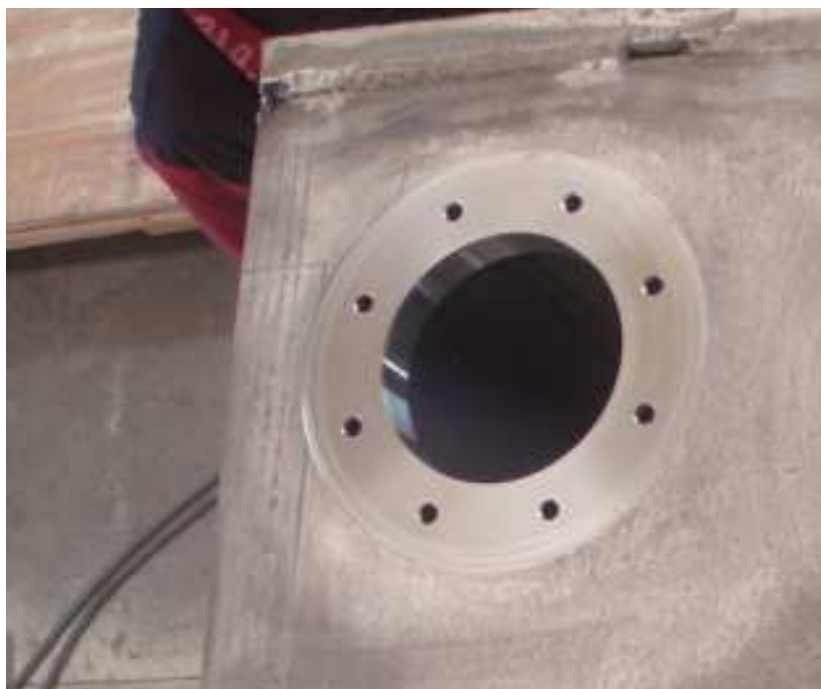
Na vnější stěny komory je navařeno zpevňující žebrovaní. Tyto žebra plní zpevňující funkci, aby byla zajištěna tuhost celé konstrukce. Materiál těchto žeber je standardní konstrukční ocel. Žebra se navařují na stěny technologií MAG oboustranným podélným svarem.



Komora je dále vybavena otvory, které složí k připojování obslužných strojních zařízení. Jedná se o vakuové pumpy vytvářející uvnitř komory vakuové komory. Tyto jsou na komoru vakuově těsným spojením přišroubovány a nejsou součástí dodávaného výrobku. Konstrukční provedení je vidět na obrázku 3 a 4.

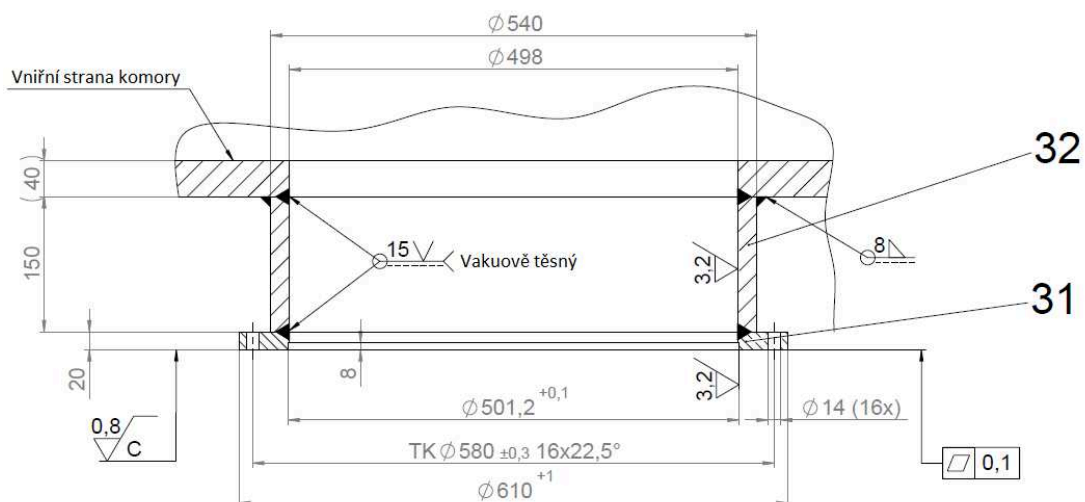


11



**Obr. 4 – Rozhraní pro připojení vakuové pumpy**

Další otvory složí k připojení elektronových svářeček. Svářecí zařízení je také vakuově těsně přišroubováno. U této části komory je obzvlášť důležité dbát na rozměrovou přesnost výrobku, aby byla zajištěna správná poloha a tím zajištěna i správná funkčnost. Způsob konstrukčního řešení je možno vidět na obrázku 5 a 6.



**Obr. 5 – Rozhraní pro připojení elektronové svářečky**



**Obr. 6 – Rozhraní pro připojení elektronové svářečky**

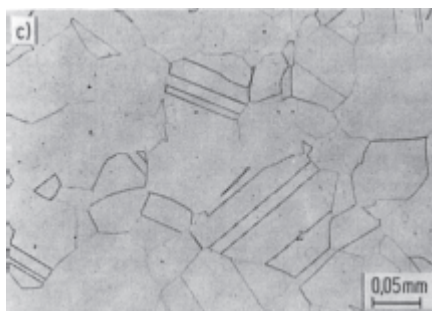
Komora je po zhotovení z důvodů antikorozní ochrany částí bez korozivzdorných vlastností i z estetických důvodů z vnější strany lakována.

### **3. ANALÝZA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ PŘI KONSTRUKCI**

#### **3.1 Materiál 1.4307**

EN 10027-2	1.4307
DIN	X2CrNi18-9
AISI	304L

Tato ocel je standartní materiál, který se vyznačuje vynikající odolností vůči korozi v přirozeném okolním prostředí (voda, venkovská či městská atmosféra) bez významných koncentrací kyselin nebo chloridů. Hlavními legujícími prvky materiálu jsou chrom a nikl. Na povrchu materiálu vzniká reakcí kyslíku s materiálem pasivní vrstva oxidů, která se sama obnovuje. Tato vrstva dodává vlastnost odolnosti proti korozi. Dalšími nezanedbatelnými vlastnostmi materiálu je jeho estetický vzhled, nízké náklady z hlediska celé životnosti, recyklovatelnost, biologická neutralita, snadná opracovatelnost a čištění a výhodný poměr pevnosti a hmotnosti. Struktura materiálu je austenitická. Struktura materiálu je znázorněna na obrázku 7. [1] [4] [5]



**Obr. 7** - Materiál 1.4307 s austenitickou strukturou [4]

Chemické složení materiálu 1.4307:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
<0,03	<2	<1	<0,045	<0,015	17,5 – 19,5	8,0 – 10,5

**Tab 1.** Chemické složení materiálu 1.4307

Mechanické vlastnosti materiálu 1.4307:

R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	Tvrdost [HB]	kontrakce Z [%]	Tažnost [%] A5
500-700	min. 210	143	50	35-40

**Tab 2.** Mechanické vlastnosti materiálu 1.4307

### 3.2 Materiál S235 JR

S235 JR (St37-2)

EN 10027-2 1.0038

DIN RSt 37-2

EN 10027-1 S235JRG2

Neušlechtilá ocel na svařované mostní a jeřábové konstrukce, na strojní součásti, na součásti tepelných energetických zařízení a na tlakové nádoby, pracující s omezeným přetlakem a při teplotě do 300°C. Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak například uvádí ECSC IC 2 ( EN 1011).

Chemické složení materiálu S235 JR:

C	P	Mn	S	N
0,2	0,035	1,4	0,035	0,012

**Tab 3.** Chemické složení materiálu S235 JR

Mechanické vlastnosti materiálu S235 JR:

Re [MPa]	Rm [MPa]	Tvrdość [HB]	Kontrakce Z [%]	Tažnost [%]	
				A5	A10
196-235	363-441	161-223	45-50	7-24	23

**Tab 4.** Chemické složení materiálu S235 JR

#### 4. ANALÝZA SVAŘITELNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

Svařitelnost ocelí je technologická vlastnost, která určuje vhodnost materiálů pro svařování pro dosažení požadované jakosti a kvality svaru. Při svařování dochází ke změnám vlastností kovů. Svařitelnost materiálů ovlivňují základní činitele:

- chemické složení materiálů
- technologickým způsob svařování
- způsob lití a tváření
- tepelné zpracování

##### 4.1 Svařitelnost vysokolegovaných ocelí

Tyto druhy ocelí nejsou náchylné k trhlinám za tepla. Struktura materiálu ovšem může obsahovat několik procent feritické struktury, což obvykle bývá. Přítomnost feritu ve vysokolegovaném svarovém kovu je úzce spojena s problematikou náchylnosti k trhlinám za tepla. Proto je nutné striktně limitovat vnesené teplo, aby nedošlo k přehřátí materiálu. Dle vzorce 3.1 je možné tuto hodnotu vypočítat. [4] [6]

Příčinou vzniku teplých trhlin jsou prvky jako S, P, Si, Ti a Nb. Tyto prvky mohou zapříčinit při tuhnutí snižování plasticity kovu nebo vytvářet se železem a niklem nízko tavitelná eutektika, která snižují technologickou pevnost hranice zrn (teplé krystalizační trhliny vznikají ve svarovém kovu, teplé likvační a polygonizační trhliny vznikají ve svarovém kovu i TOO). Podle níže uvedených vzorců lze matematickým výpočtem zjistit náchylnost korozivzdorných ocelí ke vzniku teplých trhlin. Možnost vzniku teplých trhlin je možno redukovat snížením tepelného příkonu svařování, nebo použitím přídatného materiálu s obsahem  $\delta$ -feritu do 5%. [6]

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \quad (3.1)$$

Kde  $Q$  je vnesené teplo [ $\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ ],  $U$  je napětí [ $\text{V}$ ],  $I$  je svařovací proud [ $\text{A}$ ] a  $v$  je svařovací rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]. U austenitických materiálů by hodnota  $Q$  neměla překročit  $1,5 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

V případě požadavku na zvýšení odolnosti proti mezikrystalické korozi svařenců se provádí buď rozpouštěcí žíhání (při teplotách  $1\,050\text{--}1\,100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dochází k opětovnému rozpuštění vyloučených karbidů  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  v austenitu a následuje rychlé ochlazení svarů), nebo stabilizační žíhání (u stabilizovaných typů austenitických ocelí dojde při teplotách okolo  $800\text{--}850\text{ }^{\circ}\text{C}$  k urychlení vzniku karbidů stabilizačních prvků  $\text{TiC}$ ,  $\text{NbC}$  nebo  $\text{TaC}$ ). Na obrázku 8 je znázorněna mezikrystalická koroze. Na obrázku 9 je znázorněn příklad mezikrystalické koroze v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) svaru. [6]



**Obr. 8 - Mezikrystalická koroze** [6]



**Obr. 9 - Mezikrystalická koroze v TOO svaru** [6]

Z důvodu propalu legujících prvků (zejména  $\text{Cr}$  a  $\text{Mo}$ ) se doporučuje používat více legované přídatné svařovací materiály. [6]

Zjišťování obsahu  $\delta$ -feritu v % se provádí na základě jeho plošného podílu ve struktuře, kdežto tzv. feritové číslo (FN) se zjišťuje na základě jeho objemového podílu nejčastěji magnetickou metodou. Nejčastěji se používají feritoskopy Magna Gauge, FC2, Fischer MP3, nebo Foerster Feritoskop. [6]

U svařování vysocелеgovaného materiálu je nutné z důvodu zachování antikoročních vlastností dodržovat teplotu Interpass. Interpass teplota je teplota svarového kovu bezprostředně před započítím svařování následující vrstvy u vícevrstvého svařování. Tuto teplotu je nutné dodržovat do maximálně  $100^{\circ}\text{C}$  a zároveň je třeba klást úzké housenky. [10]



#### 4.2 Svařitelnost heterogenních spojů

Rozdílné druhy ocelí mohou být svařovány bez obtíží. Podstatné je, aby byl zvolený přídavný materiál měl nejméně stejné mechanické a korozní vlastnosti, jako horší z obou svařovaných materiálů. Hlavním problémem při svařování je vyhnout se vzniku trhlin ve svarovém kovu, nebo v tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu. Tyto trhliny mohou být iniciovány vodíkem, nebo se může jednat o trhliny za horka, způsobené volbou nevhodného přídavného materiálu, nebo volbou špatné technologie. [7]

Abychom se vyhnuli vzniku tvrdých a křehkých vrstev a struktur náchylných k trhlinám za horka, je nutné brát v úvahu rozředění přídavného svarového kovu základním materiálem. Přídavný materiál charakteru nelegované oceli poskytne vysoce legovanou křehkou, martenzitickou strukturu, jestliže bude navařen na vysocelegovanou ocel. Při použití běžného nerezového přídavného materiálu při svařování nelegované oceli bude výsledkem stejná nepříznivá mikrostruktura. V obou případech existují tvrdé a křehké oblasti svarů s pravděpodobně vysokou náchylností na vznik trhlin. [7]

Většina postupů spočívá v tom, abychom získali svarový kov s austenitickou strukturou s malým množstvím feritu. Tento svarový kov má dobrou odolnost proti trhlinám a vysokou tažnost. Jsou používány přelegované přídavné materiály jako 23Cr12Ni (s Mo nebo bez Mo) a 29Cr9Ni. S dobrými výsledky mohou být použity i přídavné materiály, poskytující duplexní svarový kov. Podobný, i když částečně odlišný, postup spočívá v použití přídavných materiálů, produkujících více či méně plně austenitický svarový kov. V tomto případě je potřebná odolnost proti vzniku trhlin dosahována vysokým legováním manganem. Příkladem takového přídavného materiálu je složení 18Cr8Ni6Mn. Přídavné materiály na bázi niklu by měly být používány tam, kde provozní teploty přesahují úroveň přibližně 350 až 400°C, aby byla omezena difúze uhlíku do svaru. Diagramy jako je Schaefflerův (na obrázku 10) nebo současný WRC-1992 (na obrázku 11) mohou být použity k predikci mikrostruktury ve svarovém kovu. Diagram WRC-1992 pravděpodobně dává přesnější údaje o predikci obsahu feritu ve svarovém kovu, ale Schaefflerův diagram má výhodu v tom, že ukazuje strukturu pro jakékoliv základní a přídavné materiály a jejich svarové kovy. [7]

Výpočet ekvivalentů chromu a niklu pro Schaefflerův diagram:

$$\%Cr_E = Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb + 2Ti \text{ [hm\%]} \quad (3.1)$$

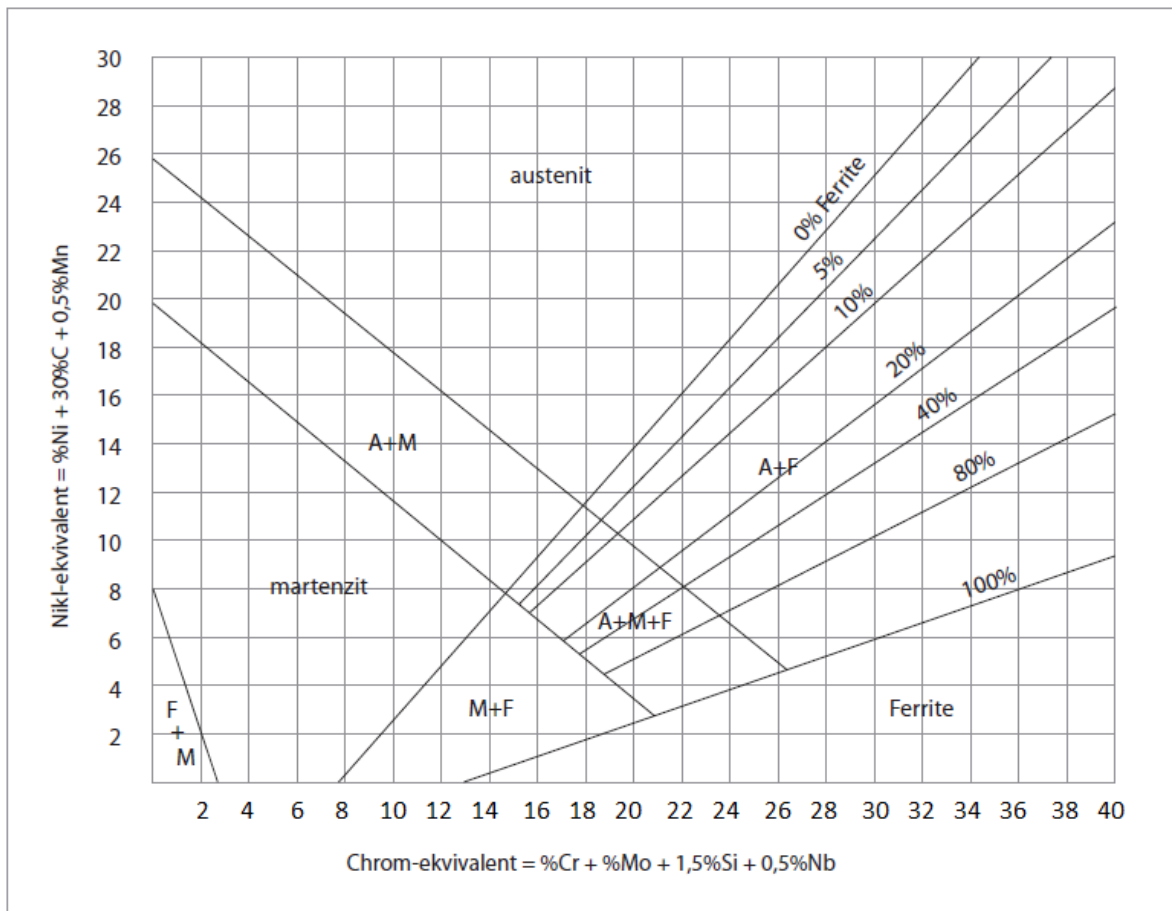
$$\%Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn \text{ [hm\%]} \quad (3.2)$$

Pro výpočty ekvivalenty chromu a niklu Schaefflerova diagramu existuje mnoho postupů, které závisí na druhu oceli, množství a druhu použitých legur.

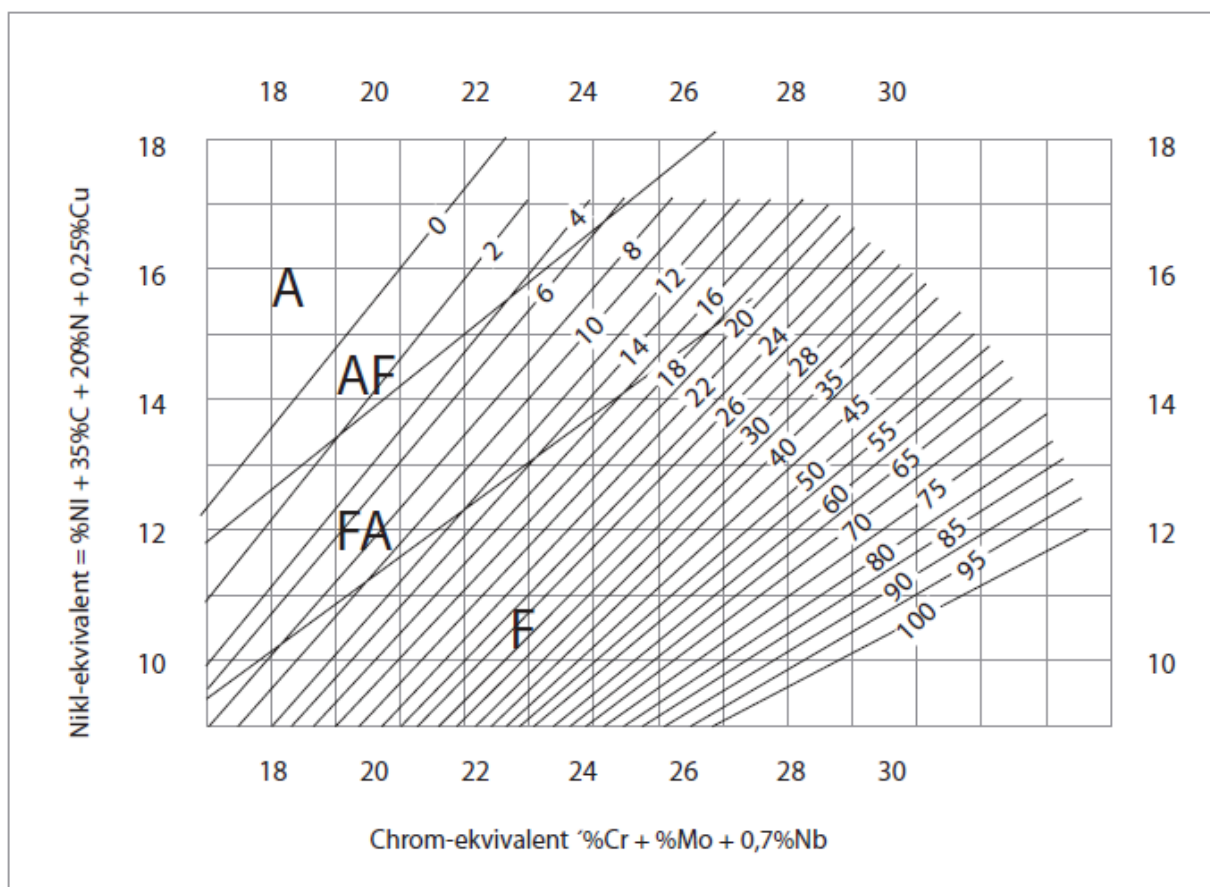
Výpočet ekvivalentů chromu a niklu pro Diagram WRC-1992 :

$$\%Cr_E = Cr + Mo + 0,7Nb \text{ [hm\%]} \quad (3.3)$$

$$\%Ni_E = Ni + 35C + 20N + 0,25Cu \text{ [hm\%]} \quad (1.5)$$



**Obr. 10 - Schaefflerův diagram [7]**



Obr. 11 - Diagram WRC-1992 [7]

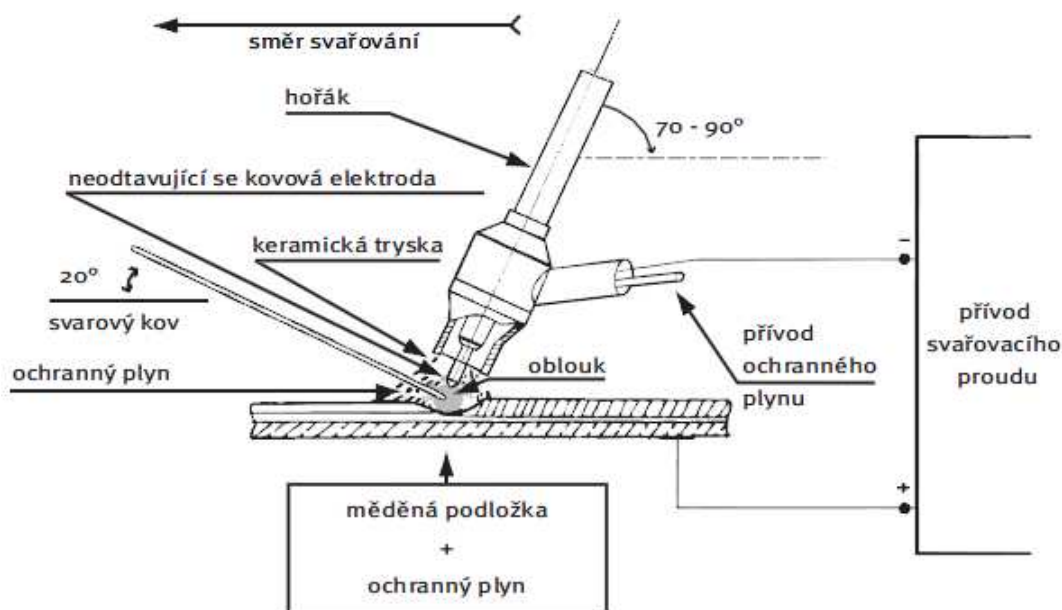
## 5. POUŽITÉ TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

### 5.1 Svařování technologií TIG

Technologie svařování TIG (Tungsten Inert Gas) symbolizuje obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. Další používané označení pro stejnou technologii jsou zkratky WIG (Wolfram Inert Gas), nebo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Další používané označení je číslicemi 141.

TIG je mezinárodní zkratka pro označení svařování elektrickým obloukem za pomoci netavící se elektrody a ochranné atmosféry inertního netečného plynu. Při této metodě svařování je energie nutná pro tavení kovu dodávána do svaru hořením elektrického oblouku mezi základním materiálem a netavící se elektrodou. Elektroda musí být vyrobena z materiálu, který musí odolávat velmi vysokým teplotám. Tyto podmínky splňuje wolfram, který má bod tání při teplotě 3 422°C. Elektrody mohou být vyrobeny buď z čistého wolframu, nebo se používají elektrody legované kyslíčnickem thoria nebo lanthanu, které zlepšují vodivost elektrody. Elektrody legované zirkonem jsou doporučovány především pro svařování hliníku. Wolframová elektroda je upnutá pomocí

kleštiny v hlavici hořáku. Pomocí kleštiny je také do elektrody přenášén svařovací proud. Hlavice hořáku je opatřena hubicí, kterou se přivádí do svařovaného místa plyn vytvářející ochrannou atmosféru. Inertní atmosféra, obvykle argonu, chrání tavnou lázeň před přístupem vzduchu a usnadňuje zapalování oblouku. Princip TIG svařování je možno vidět na obrázku 12. [2] [7] [8]



**Obr 12. - Princip TIG svařování [2]**

Svařování může být provedeno buď bez použití přídavného materiálu pouze roztavením a slitím základních materiálů dohromady, nebo s použitím přídavného materiálu, svařovacích kovových tyčinek. Při ručním svařování TIG svářeč v jedné ruce drží hořák a v druhé ruce přídavný drát a přidává jej do lázně po kapkách dle potřeby. TIG svařování lze také částečně mechanizovat, nebo úplně automatizovat. Při částečné mechanizaci stále svářeč v ruce drží hořák, ale drát je podáván pomocí speciálního, motorem hnaného, podavače do oblouku. Posun drátu ovládá svářeč tlačítkem na hořáku. Při úplné automatizaci je hořák upnut ve stroji, například robotu, a vše je řízeno automaticky - tedy vedení hořáku i přidávání drátu. [8]

Metoda TIG je díky vysoké teplotě oblouku velmi dobrou metodou pro svařování korozivzdorných Cr-Ni ocelí. Optimální čistota, dobrý ochranný plyn, dobré sledování svarové lázně, které umožňuje svářeči možnost ideálně sledovat svarovou lázeň, jsou nejdůležitější přednosti této metody. Korozivzdorné oceli se vždy svařují způsobem DCEN (Direct Current Electrode Negative), tedy stejnosměrným proudem s elektrodou připojenou na záporném pólu, nebo také DSCP (Direct Current Straight Polarity), což znamená stejnosměrným proudem s přímou polaritou. V těchto podmínkách je svařenec natavován elektrony zlepšující průvar, zatímco elektroda, která je obvykle vyrobena

z thoriového wolframu (2% ThO<sub>2</sub>), se velmi málo opotřebovává. Jestliže je použit přídavný materiál, je buď ve formě tyčinky, nebo svinutého drátu při automatickém svařování. Pro určení velikosti svařovacího proudu obvykle platí, že se užívá hodnota 30 až 40 A na každý milimetr svařované tloušťky.

[2] [7] [8] [9]

Výhodami TIG svařování je výborná kontrola svarové lázně. Nedochází na rozdíl od jiných metod svařování elektrickým obloukem k neustálému přísunu přídavného materiálu do svaru, čímž může svářeč mnohem lépe ovlivňovat svarovou lázeň a tím i vlastnosti svarového spoje. Přídavný materiál si svářeč do lázně přidává podle potřeby. Jako ideální metoda této technologie se dá považovat technologii bez přídavného materiálu, například roztavením lemu u lemového spoje. Tento způsob je z metalurgického hlediska nejlepší, protože svarový kov má shodné chemické složení se základním materiálem. Nedochází tedy k zavlečení jiných prvků do svarového kovu. Někdy je možné místo přídavného drátu použít odstřížek, nebo úlomek ze základního materiálu. To nám opět zaručí 100% shodu svarového kovu a základního materiálu. Díky vysoká teplota oblouku a úzkému teplotnímu poli nedochází k velkému tepelnému ovlivnění základního materiálu okolo svaru a i přesto je možné dosáhnout k velké hloubky závaru. To má pozitivní vliv na tepelné deformace svaru. Navíc je možné přísun tepla do svaru efektivně regulovat tvarováním oblouku. Oblouk se dá prodlužovat či zkracovat, zužovat, rozšiřovat a ohýbat a tím dosáhnout různých tepelných účinků na svařovaný materiál. Další pozitivní vlastností je příznivé tvarování svarové housenky na povrchu i v kořeni a dobré operativní vlastnosti. Obvyklý rozsah svaru je 0,5 až 4 mm, ale dají se svařovat díky možnosti použití velmi malých proudů do jednotek ampér i velmi tenké materiály. V Extrémních případech lze při použití speciálních zdrojů svařovat i kovové fólie. [2] [8] [9]

Nevýhodami TIG svařování je vysoká náročnost na svařovací zařízení. Tyto zařízení jsou obvykle komplikovanější a dražší, než zařízení pro jiné běžné metody svařování. Zásadní nevýhodou je malá produktivita technologie. Je to dáno hlavně precizností, což na druhé straně způsobuje dlouhé časy svařování. TIG technologie se proto nehodí na velkosériovou výrobu, ale spíše na tvarově složité konstrukce z ušlechtilých materiálů. Často se svařují pouze kořenové vrstvy, u kterých záleží na kvalitě. Výplňové a krycí vrstvy se pak dělají efektivnějšími metodami svařování jako MMA, či MIG/MAG. Malou produktivitu lze v některých případech odstranit automatizací či mechanizací což je sice složité, ale ne nemožné a v průmyslu se mechanizace TIG běžně používá. [8]

### **5.1.1 Přídavné materiály při svařování technologií TIG**

Jelikož se jedná o spoj dvou částí stejného materiálu, je volba přídavného materiálu zcela závislá na chemickém složení. Aby nedošlo k zavlečení žádných nežádoucích prvků, které by mohly ovlivnit korozivzdorné vlastnosti, je třeba volit přídavný materiál od dodavatele, který má identické chemické složení jako výše legovaný základní materiál, nebo jak bylo výše již zmíněno, je možné jako přídavný materiál zvolit i vhodně upravenou část výše legovaného základního materiálu, což nám zajistí 100% shodu materiálů ve svarovém spoji.

### **5.1.2 Ochranné plyny při svařování technologií TIG**

Při svařování metodou TIG se používají pouze inertní plyny. Pro ruční svařování se doporučuje argon, pro mechanizované způsoby potom čisté helium hlavně tam, kde je kladen důraz na vysokou rychlost svařování. Lze používat i směsi argonu s heliem, nebo dokonce i s redukčními plyny. Při svařování austenitických ocelí je tolerován i vodík. [7]

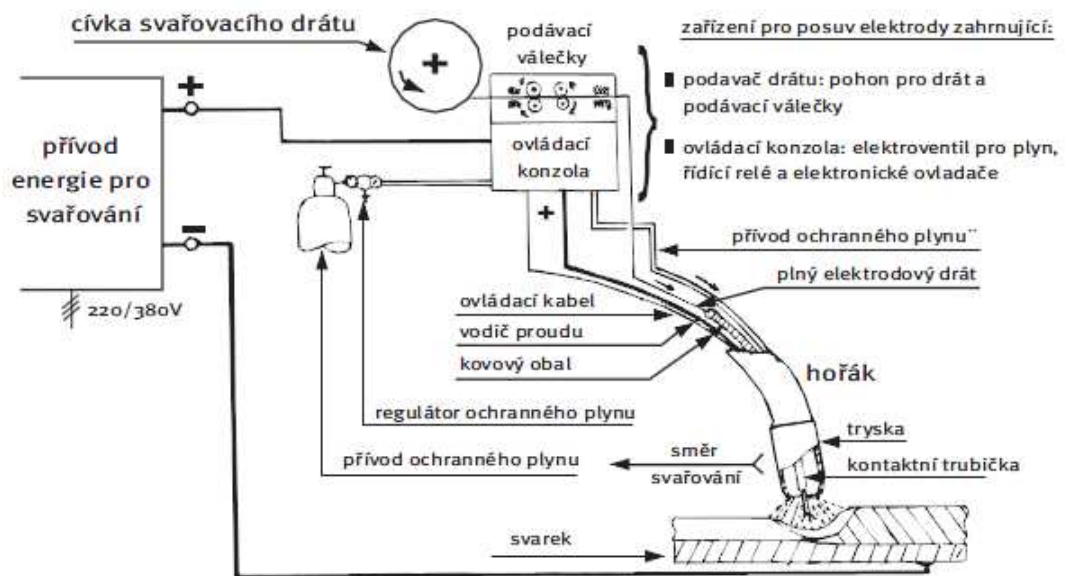
Jestliže není možné použít moření a svařování kořenové vrstvy je provedeno z jedné strany elektrodou nevytvářející strusku, musí být kořenová strana svaru chráněna před vlivem atmosféry i spodní strana materiálu před oxidací, aby nevznikaly póry ve svaru. V tomto případě se používá pro ochranu kořene buď inertní plyn, nebo redukční plynová směs. Redukční plyn je směsí dusíku s vodíkem, ale množství dusíku musí být malé, pouze 5 až 10%. Někdy je vhodné použít stejný plyn pro vlastní svařování i pro ochranu kořene. Je vhodné vzít v úvahu, že dusík v plynu pro ochranu kořene může ovlivnit obsah feritu ve svarovém kovu. Dusík stabilizuje austenitickou strukturu ve svarovém kovu a ferit by neměl poklesnout pod hodnotu 2, aby bylo omezeno nebezpečí vzniku trhlin za horka. [7] [9]

## **5.2 Svařování technologií MAG**

Technologie svařování MIG (Metal Inert Gas) symbolizuje obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. Další používané označení pro stejnou technologii je zkratky GMAW (Gas Metal Arc Welding), nebo číslicemi 131.

Metoda svařování MAG je založena na hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou a základním materiálem, případně svarovou lázní. Svařovací drát, sloužící

zároveň jako elektroda i přídavný materiál se odvíjí od cívky a je pomocí třecího kontaktu napájen elektrickým proudem. Do svarové lázně je okolo drátu ze svařovací hubice přiváděn ochranný aktivní plyn, který chrání svarovou lázeň před přístupem vzduchu a zároveň pomáhá zapálení a stabilizaci elektrického oblouku. Při svařování vysokými proudy je nezbytné svařovací hubici chladit cirkulací vody, která je přiváděna multifunkčním kabelem spolu se svařovacím drátem, vodičem elektrického proudu a ochranným plynem. Princip MIG svařování je možno vidět na obrázku 13. [10]



**Obr 13. - Princip MIG/MAG svařování [2]**

Ze všech obloukových metod svařování má metoda MIG/MAG největší proudovou hustotu, která dosahuje hodnot až  $600 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  a svařovací proudy se pohybují od 30A u svařování tenkých plechů o průměru drátu 0,6 - 0,8 mm, až do 800A u vysokovýkonných mechanizovaných metod. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a volbě ochranného plynu. Běžně se vyskytuje zkratový přenos pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky materiálu. U vysokých proudů se charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek při MAG svařování se pohybuje od 1700 do 2500°C. Teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemického složení a vlastnostech materiálu pohybuje od 1600 do 2100 °C. Díky vysokým proudům svařovací rychlost dosahuje hodnot  $150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  a rychlost kapek přenášených obloukem dosahuje  $130 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . [2] [10]

Nejdůležitějšími metalurgickými reakcemi jsou oxidační a deoxidační pochody probíhající v kapkách tavící se elektrody a v roztaveném svarovém kovu. Tyto reakce zásadním způsobem ovlivňují tvar oblouku i povrch svarové housenky, přechod svarové

housenky do základního materiálu a vnitřní čistotu svaru. Vzniklé kapky svarového kovu jsou obohaceny při přechodu do tavné lázně kyslíkem a dosahují vysokých teplot, protože oxidační reakce jsou exotermické. Tyto reakce uvolňují teplo, které je odváděno do okolního materiálu. Výsledkem toho je hlubší a oválnější svarová lázeň u svaru s ochranným plynem  $\text{CO}_2$ , který má větší oxidační schopnost než u směsi  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ , nebo v čistém argonu. Slučování oxidů  $\text{FeO}$  s  $\text{C}$  se tvoří bubliny  $\text{CO}$ , které mohou způsobovat pórovitost svaru. To je jeden z důvodů, proč je nutné provádět dokonalou desoxidaci taveniny svarového kovu. Desoxidačními prvky  $\text{Mn}$  a  $\text{Si}$  proto bývají přídavné materiály přelegovány v určitém poměru tak, aby vzniklá struska měla vhodnou tekutost a snadno vyplavala na povrch lázně. Doporučený poměr mezi  $\text{Mn}$  a  $\text{Si}$  je přibližně 1,5 : 1 až 1,8 : 1 a optimální složení přídavných materiálů je  $\text{C} = 0,1\%$ ,  $\text{Mn} = 1,7\%$  a  $\text{Si} = 1,0\%$ . [10]

Pro svařování vysokolegovaných ocelí je vhodné volit svařování impulsním proudem. Je to zvláštní forma bezzkratového přenosu kovu do svarové lázně. Impulzní forma přenosu kovu obloukem má pravidelný cyklus daný frekvencí amplitudy impulsního proudu. Základní proud je nízký od 20 do 50 A a jeho funkce je udržení ionizace oblouku, a tím i vedení proudu. Impulsní proud je tvarově i časově řízený a v konečné fázi jeho amplitudy je zajištěno odtavování kapky přídavného materiálu. V celém průběhu amplitudy impulsního proudu intenzivně hoří oblouk, který ohřívá svarovou lázeň i samotný přídavný materiál. Výhodou svařování impulsním proudem jsou jeho efektivní hodnota, která je nižší než u konstantního proudu, a tím se vnáší méně tepla do svaru. Impulsní proud také taví dráty větších průměrů, které jsou levnější, a také tím stoupá produktivita svařování. [2] [10]

### **5.2.1 Přídavné materiály při svařování technologií MAG**

Jedná se o heterogenní spojení dvou různých materiálů. Toto svařování by se mělo provádět pomocí přelegovaných nerezavějících ocelí, tedy materiálů výše legovaných, než základní materiál. Jsou celkem dvě metody svařování takovýchto spojů. První způsob je spoj svařit přelegovanou nerezavějící ocelí, nebo materiálem na bázi niklu. Jako alternativní postup je možno vypoduškovat svarové místo na straně nelegovaného materiálu přelegovaným nerezavějícím svarovým kovem čímž se do určité míry materiál naleguje. Poté se svar provede takovým přídavným materiálem, který odpovídá chemickému složení korozivzdorné oceli. [12]



### **5.2.2 Ochranné plyny při svařování technologií MAG**

Metoda MAG vyžaduje ochranný plyn pro zabránění oxidace ve svarovém oblouku. Argon s 2% O<sub>2</sub> dává stabilní proud a je vhodný pro většinu aplikací. Lze použít i směs argonu s podílem CO<sub>2</sub>. V tomto případě je ale vhodné použití trubičkových drátů. Je nutné dbát na nebezpečí tvorby karbidů chromu. Plyny s vyšším obsahem CO<sub>2</sub> mají také sklon k vytváření výrazného nauhličování ve svarové lázni a proto se použití plynu s podílem CO<sub>2</sub> nedoporučuje pro svařování nerezavějících ocelí s obsahem uhlíku pod 0,03%. Pro svařování ocelí s vysokým obsahem niklu, nebo niklových slitin je doporučován argon, nebo směs argon-hélium. [2] [9] [10]

## **6. POUŽITÉ SVAŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ, PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY A OCHRANNÉ PLYNY**

### **6.1 Svářecí zařízení TIG**

#### **MERKLE TIG 254 AC/DC**

Svařovací zdroj TIG s možností volby režimů DC / AC/DC. Je možné svařovat konstantním, nebo pulsním proudem. Lze přepínat mezi dvěma svařovacími proudy během svařování. Zapalování oblouku je vysokofrekvenční. Zdroj je vybaven funkcemi Arc Force (horký start) a Lift-Arc (Zamezení rozžhavení elektrody). Displej je vybaven digitálním ukazatelem svařovacího proudu, času nebo frekvence. [20]

Rozsah parametrů [20] :

- napájecí napětí	3 x 400 V
- frekvence napájecího napětí	50 / 60 Hz
- cos phi	0,95
- napájení naprázdno	70 V
- rozsah svařovacího proudu	5 - 250 A
- zatížitelnost	250 A / 45% / 40°C 210 A / 100% / 40°C
- krytí izolace	IP 23 / H
- rozměry (mm)	600 x 300 x 565
- hmotnost	39 kg

## 6.2 Příkladový materiál TIG

Svařovací drát: **ER347**

Dodavatel: Sopras s.r.o.

Drát typu 18Cr8Ni stabilizovaný niobem pro svařování nerezavějících ocelí podobného chemického složení stabilizovaných Ti nebo Nb. Poskytuje svarový kov s dobrou odolností proti mezikrystalové korozi. [18]

Typické chemické vlastnosti

C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb
0,03	1,6	0,45	19,5	9,8	0,6

**Tab 5.** Chemické složení přídatného materiálu ER 347

Typické mechanické vlastnosti

Re [MPa]	Rm [MPa]	Tažnost [%] A5
450	690	45

**Tab 6.** Mechanické vlastnosti přídatného materiálu ER 347

## 6.3 Ochranný plyn TIG

### X30S TECH 300B

EN 439 – I1

100% Argon

Dodavatel: Airproducts spol s r.o.

Jedná se o technický plyn argon, který se výborně hodí pro TIG svařování všech materiálů, nebo pro svařování hliníku a jeho slitin metodou MIG. Technický argon je čistý plyn, který umožňuje dosáhnout velmi dobré kvality ochrany tavné lázně. Nízký ionizační potenciál argonu umožňuje snadné zapálení a vysokou stabilitu oblouku.

## **6.4 Svářecí zařízení MIG/MAG**

### **MERKLE PU 300K**

Pulzní invertorový svařovací zdroj MIG/MAG s plynulou regulací svařovacího proudu. Je vybaven integrovaným podavačem drátu s čtyřklapkovým pohonem. Zdroj je vhodný pro svařování uhlíkových i legovaných ocelí, hliníku i pozinkovaných materiálů, včetně pulsního a superpulsního svařování obalovanou elektrodou. Je vybaven displejem s digitálním ukazatelem svařovacího proudu, svařovacího napětí a rychlostí posuvu drátu. Lze přednastavit parametry svařování dle tloušťky svařovaného materiálu. Posuv drátu je plynule nastavitelný. Hořák má vodní chlazení „TEDAC“ s plynulou regulací svařovacího proudu v průběhu svařování. [19]

Rozsah parametrů [19] :

- napájecí napětí	3x400V
- cos phi	0,99
- proudový rozsah	20 – 300 A
- napětí	15 – 29 V
- zatížitelnost	300 A / 60% / 40°C 250 A / 100% / 40°C
- napájení naprázdno	57 V
- počet programů	144
- krytí isolace	IP 23 / H
- rozměry (mm)	600 x 300 x 565
- hmotnost	33 kg
- normy	EN 60974-1 „S“ / CE

## **6.5 Přídavný materiál MAG**

Typ: **OK Autrod 309L**

Dodavatel: ESAB

Chromniklový drát, pro svařování ocelí typu 23Cr12Ni. Je částečně používán také pro navařování přechodových vrstev na nelegované C/Mn oceli a pro svařování heterogenních spojů. Pro tato uvedená použití je nutné kontrolovat velikost promísení se základním materiálem. OK Autrod 309L poskytuje svarový kov s dobrou korozní odolností.

Pokud je používán pro zhotovování přechodových vrstev, nabývá tato vlastnost až sekundární důležitosti. [18]

Typické chemické složení čistého svarového kovu:

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N
max 0,03	0,4	1,5	23,5	13	0,1	max 0,11

**Tab 7.** Chemické složení přídavného materiálu OK Autrod 309L [18]

Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu:

Re [MPa]	Rm [MPa]	Tažnost [%]	
		A4	A5
440	600	41	41

**Tab 8.** Chemické složení přídavného materiálu OK Autrod 309L [18]

## 6.6 Ochranný plyn MAG

INOMAXX 2 – X50S COM 300B

EN 439 - M12

Dodavatel: Airproducts

Chemické složení podle EN 439: CO<sub>2</sub> 0-5%, Argon 95-100%

Plyn Inomaxx 2 byl vyvinut za účelem snadného vytváření kvalitních svarových spojů korozivzdorných austenitických ocelí. Tato směs umožňuje dosažení dobré kvality svaru s nízkou úrovní rozstříku a dobrými mechanickými vlastnostmi. Je vhodný pro všechny tloušťky materiálu a typy přenosu kovu obloukem. Při svařování pulzním obloukem, zajišťuje výborné mechanické vlastnosti svarového spoje. [15]

- velmi dobrá kvalita svaru při nízkém rozstříku
- hladký a pravidelný povrch svarové housenky
- vhodný pro svařování pulzním proudem
- zvláště vhodný pro svařování malých a středních tlouštěk
- vhodný pro všechny způsoby přenosu svarového kovu [16]

## 7. KRITICKÉ OPERACE

Kritickou operací při výrobě komor je svařování heterogenních spojů. Toto svařování je prováděno technologií MAG a vyskytují se při něm trhliny za horka ve svařích. Výskyt těchto vad může být způsoben nesprávnou volbou postupu technologie svařování. Na obrázcích 14 a 15 jsou vyfoceny vznikající trhliny ve svaru.



**Obr. 14 – Trhlina ve svaru**



**Obr. 15 – Trhlina ve svaru viditelná po penetrační zkoušce**

## 7.1 Trhliny za horka

Trhliny za horka mohou vznikat při ochlazování svarových spojů ve svarovém kovu, nebo i teplem ovlivněné oblasti. Trhliny za horka lze rozdělit na:

- **Krystalizační** – vznikají ve svarovém kovu v průběhu tuhnutí
- **Likvační** – vznikají ve vysokoohřátém podhousenkovém pásmu teplem ovlivněné oblasti základního materiálu, nebo ve svarovém kovu při několikvrstevném svařování
- **Polygonační** – označované také jako trhliny z poklesu tažnosti, mohou vznikat jako likvační v teplem ovlivněné oblasti základního materiálu, nebo ve svarovém kovu při nižší teplotě než 850°C. Polygonační trhliny jsou charakteristické pro vysokolegované austenitické oceli a slitiny niklu. [17]

Míru náchylnosti svarů k trhlinám nám udává Schaefflerův diagram. Oblast této náchylnosti se nachází na hranici obsahu 5% feritu v austenitické oblasti.

Výpočet ekvivalentů chromu a nikle pro ocel 1.4307, ocel S235 JR a přídatného materiálu pro svařování heterogenního spoje jsou podle vzorců 6.1 a 6.2 je vidět ve vzorcích 6.3 až 6.4 a jsou dále uvedeny v tabulce 9. Jejich výsledné polohy v Schaefflerově diagramu včetně znázornění polohy výsledného svarového kovu jsou znázorněny na obrázku 16.

Ekvivalenty chromu a niklu materiálu 1.4307

$$\begin{aligned}\%Cr_E &= Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb + 2Ti = 18,75 + 0 + 1,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 \\ &= 20,25 \text{ [hm\%]}\end{aligned}\quad (6.1)$$

$$\%Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn = 9,25 + 30 \cdot 0,03 + 0,5 \cdot 2 = 11,15 \text{ [hm\%]}\quad (6.2)$$

Ekvivalenty chromu a niklu materiálu S235 JR

$$\%Cr_E = Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb + 2Ti = 0 + 0 + 1,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 = 0 \text{ [hm\%]}\quad (6.3)$$

$$\%Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn = 0 + 30 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 1,4 = 6,7 \text{ [hm\%]}\quad (6.4)$$

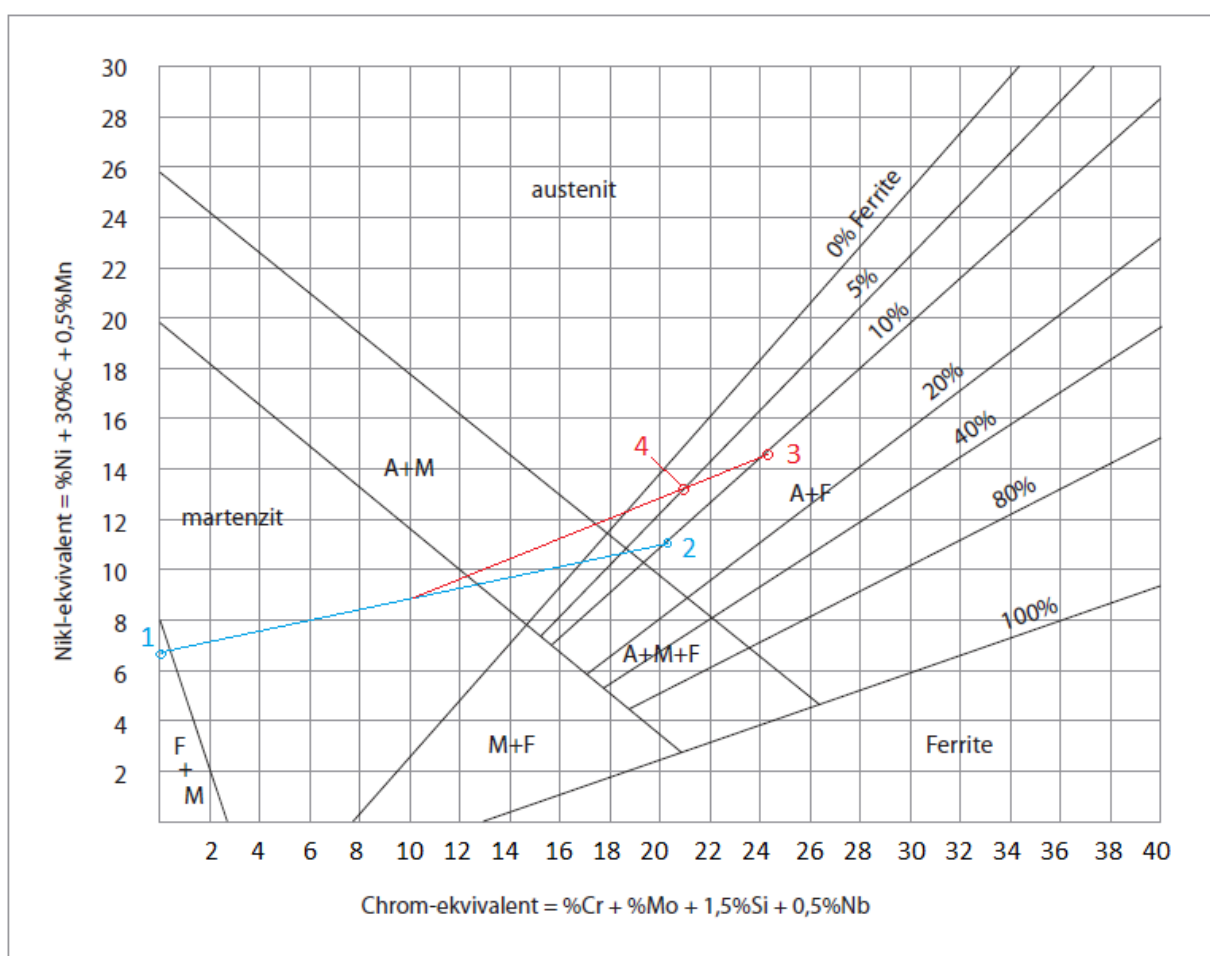
Ekvivalenty chromu a niklu přídatného materiálu OK Autrod 309L

$$\begin{aligned}\%Cr_E &= Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb + 2Ti = 23,5 + 0,1 + 1,5 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 \\ &= 24,2 \text{ [hm\%]}\end{aligned}\quad (6.5)$$

$$\%Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn = 13 + 30 \cdot 0,03 + 0,5 \cdot 1,5 = 14,65 \text{ [hm\%]}\quad (6.6)$$

Kompozit	Materiál 1.4307	Materiál S235 JR	Přídavný materiál OK Autrod 309L
Uhlík C [%]	0,03	0,2	0,03
Křemík Si [%]	1	-	0,4
Mangan Mn [%]	2	1,4	1,5
Chrom Cr [%]	18,75	-	23,5
Molybden Mo [%]	-	-	0,1
Nikl Ni [%]	9,25	-	13
Niob Nb [%]	-	-	-
Ekvivalent chromu [%]	20,25	0	24,2
Ekvivalent niklu [%]	11,15	6,7	14,65
	%	Cr equivalent	Ni equivalent
Promísení	25	20,68	13,22

**Tab 9.** Ekvivalenty chromu a niklu pro heterogenní svarový spoj



**Obr 16.** Znázornění poloh materiálů v Schaefflerově diagramu [11]

Výsledný svarový kov heterogenního spoje se svým chemickým složením nachází na hranici austenitické oblasti, což zvyšuje riziko náchylnosti k prasklinám za horka. Poloha obou základních materiálů, přídavného materiálu i poloha výsledného svarového kovu v Schaefflerově diagramu je vidět na obrázku 13.

## 7.2 Návrhy k zamezení vzniku trhlin za horka

Pro toto svařování je vhodné zvolit jiný přídatný materiál. Chemickým složením je původnímu přídatnému materiálu velmi podobný přídatný materiál OK Autrod 309LSi. Obsahuje však více chromu a méně niklu, což výslednou polohu svarového kovu v Schaefflerově diagramu posune dále od oblasti náchylnosti na praskliny za horka.

### OK Autrod 309LSi

Drát s velmi nízkým obsahem uhlíku pro svařování nerezavějících ocelí typu 24Cr12Ni a pro heterogenní spoje. Drát má zvýšený obsah Si pro zlepšení operativních vlastností. Používá se i jako mezivrstva při svařování plátovaných ocelí a tam, kde je třeba odolnost vůči žáru až do 1000°C. [18]

Typické chemické složení čistého svarového kovu

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N
max 0,03	0,8	1,8	24	13	Max 0,3	max 0,11

**Tab 10.** Chemické složení přídatného materiálu OK Autrod 309LSi [18]

Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu:

Re [MPa]	Rm [MPa]	Tažnost [%]	
		A4	A5
440	600	41	41

**Tab 11.** Chemické složení přídatného materiálu OK Autrod 309LSi [18]

Ekvivalenty chromu a niklu přídatného materiálu OK Autrod 309LSi

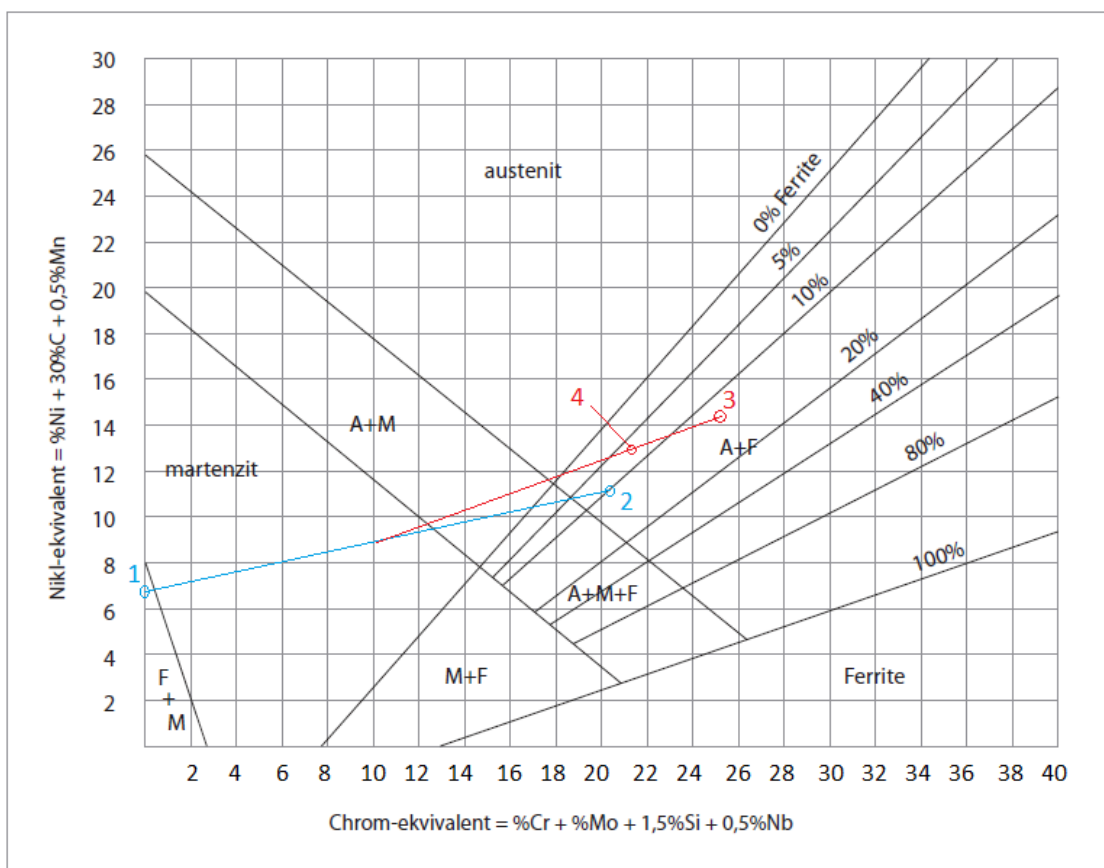
$$\begin{aligned} \%Cr_E &= Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb + 2Ti = 24 + 0,1 + 1,5 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 \\ &= 25,3 \text{ [hm\%]} \end{aligned} \quad (6.7)$$

$$\%Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn = 13 + 30 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 1,8 = 14,4 \text{ [hm\%]} \quad (6.8)$$



Kompozit	Materiál 1.4307	Materiál S235 JR	Přídavný materiál OK Autrod 309LSi
Uhlík C [%]	0,03	0,2	0,02
Křemík Si [%]	1	-	0,8
Mangan Mn [%]	2	1,4	1,8
Chrom Cr [%]	18,75	-	24
Molybden Mo [%]	-	-	0,1
Nikl Ni [%]	9,25	-	13
Niob Nb [%]	-	-	-
Ekvivalent chromu [%]	20,25	0	25,3
Ekvivalent niklu [%]	11,15	6,7	14,4
		Cr equivalent	Ni equivalent
Promísení	25 %	21,51	13,11

**Tab 12.** Ekvivalenty chromu a niklu pro heterogenní svarový spoj



**Obr 17.** Znázornění poloh materiálů v Schaefflerově diagramu [11]

Poloha výsledného svarového kovu s novým přídavným materiálem OK Autrod 309LSi leží v porovnání s původním přídavným materiálem OK Autrod 309L dále od austenitické oblasti náchylné k prasklinám za horka, což by mohlo vést ke snížení či zamezení výskytu trhlin za horka.

K zamezení vznikání trhlin za tepla napomáhají také tyto faktory:

- Snížení měrného příkonu svařování. Sníží se množství natavené fáze, stupeň segregace a růst zrna.
- Použití přídavných materiálů vysoké čistoty.
- Omezit napětí a deformace použitím vhodných technik svařování, tvaru svarového spoje a předehtěvu.
- Nepoužívat housenky s vysokým tvarovým koeficientem svaru a malým průřezem, zejména v kořenové oblasti [17]

## **8. NORMA ČSN EN ISO 3834**

Tato mezinárodní norma stanovuje vhodné požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů. Požadavky obsažené v normě se vztahují pouze k těm aspektům jakosti, které mohou být ovlivněny procesem svařování, bez toho aniž by byly přiřazeny k jakékoliv skupině výrobků. Norma určuje tedy způsob, jak prokázat schopnost výrobce vyrábět výrobky ve stanovené kvalitě. Norma je nezávislá na konstrukci výrobku, stanovuje požadavky na jakost při svařování, poskytuje návod k poznání schopnosti výrobce vyrábět konstrukce tak, aby vyhověly stanoveným požadavkům. Představuje také základ pro hodnocení schopnosti výrobce ke svařování. [13]

Volba odpovídající části normy, která stanovuje stupeň požadavků na jakost, by měla být v souladu s výrobkovou normou specifikací i platným předpisem či smlouvou. Výrobce volí jednu ze tří částí normy specifikující nároky na jakost na základě následujících hledisek [13]:

- rozsah a významnost rizik z hlediska bezpečnosti výrobků
- složitost výroby
- sortiment vyráběných výrobků
- sortiment různých používaných materiálů
- rozsah možných metalurgických problémů
- rozsah možných vad ve výrobě [13]

Volbu části normy ČSN EN ISO 3834, podle které se stanovují požadavky pro konstrukci, je možné volit podle požadavku uvedených v tabulce 13.

Číslo	Kritérium	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-4
1	Přezkoumání požadavků	Vyžaduje se přezkoumání		
		Je vyžadován záznam	Může být vyžadován záznam	Není vyžadován záznam
2	Přezkoumání technických podkladů	Vyžaduje se přezkoumání		
		Je vyžadován záznam	Může být vyžadován záznam	Není vyžadován záznam
3	Smluvní subdodávky	Projednání jako u výrobce pro speciální smluvně dodávané výrobky, služby nebo činnosti. Konečná odpovědnost za jakost zůstává na výrobcí.		
4	Svářeči a operátoři	Je vyžadována kvalifikace		
5	Svářečský dozor	Je vyžadován		Žádné zvláštní požadavky
6	Personál pro kontrolu a zkoušení	Je vyžadována kvalifikace		
7	Výrobní a zkušební zařízení	Vhodné a k dispozici podle potřeby, pro přípravu, provedení operací, zkoušení, dopravu, manipulaci a zvedání spolu se zařízením pro zajištění bezpečnosti práce a ochrannými oděvy.		
8	Údržba zařízení	Je vyžadováno provádět, udržovat a dosahovat shody výrobku.		Žádné zvláštní požadavky
		Jsou vyžadovány dokumentované postupy a záznamy	Jsou doporučeny záznamy	
9	Popis zařízení	Je vyžadován seznam		Žádné zvláštní požadavky
10	Plánování výroby	Je vyžadováno		Žádné zvláštní záznamy
		Jsou vyžadovány dokumentované postupy a záznamy	Jsou doporučeny dokumentované postupy a záznamy	
11	Specifikace postupu svařování	Je vyžadována		Žádné zvláštní požadavky
12	Kvalifikace postupů svařování	Je vyžadována		Žádné zvláštní požadavky
13	Zkoušení dávek svařovacích materiálů	Pokud je vyžadováno	Žádné zvláštní požadavky	
14	Skládování a manipulace se svařovacími / přídavnými materiály	Je vyžadován postup podle doporučení dodavatele svařovacího / přídavného materiálu		Podle doporučení dodavatele
15	Skládování základních materiálů	Je vyžadována ochrana před vlivem okolního prostředí, během skladování musí být zachována identifikace.		Žádné zvláštní požadavky
16	Tepelné zpracování po svařování	Potvrzení, že byly splněny požadavky výrobní normy nebo specifikací.		Žádné zvláštní požadavky
		Jsou vyžadovány postupy, záznam a sledovanost záznamu k výrobku	Je vyžadován postup a záznam	
17	Kontrola a zkoušení před, během a po svařování	Je vyžadováno		Pokud je vyžadováno
18	Neshody a opatření k nápravě	Musí být zavedeno řízení neshod, jsou vyžadovány postupy pro opravy a / nebo odstranění vad.		Musí být zavedeno řízení neshod.
19	Kalibrace nebo validace měřících, kontrolních a zkušebních zařízení	Je vyžadována	Pokud je vyžadována	Žádné zvláštní požadavky
20	Identifikace v průběhu procesu	Pokud je požadována		Žádné zvláštní požadavky
21	Sledovatelnost	Pokud je požadována		Žádné zvláštní požadavky
22	Záznamy o jakosti	Pokud jsou vyžadovány		

**Tab 13. Kritéria napomáhající výběru odpovídající části [13]**

U výrobce, který prokazuje soulad s odpovídajícím stupněm normy, se také předpokládá, bez dalšího prokazování, splnění všech nižších stupňů. Výrobce ve shodě s vyššími požadavky na jakost (ČSN EN ISO 3834-2) prokazuje také soulad se standartními (ČSN EN ISO 3834-3) a základními (ČSN EN ISO 3834-4) požadavky na jakost.

## **9. SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ - WPS**

Výrobce musí zpracovat specifikace postupu svařování a musí zabezpečit jejich správné použití ve výrobě. Norma ČSN EN ISO 15609-1 stanovuje požadavky na obsah specifikací postupů svařování pro metody obloukového svařování. Postupy svařování musí být před zahájením výroby kvalifikovány. Způsob této kvalifikace musí odpovídat výrobním normám, nebo ustanovením ve specifikaci výrobku. Předběžný způsob a postup svařování se uvádí v pWPS (předběžná WPS). Z pWPS se WPS stane po ověření a schválení navrženého postupu svařování. Schválení, či kvalifikace se provádí několika způsoby. Nejčastěji se kvalifikace provádí na základě:

- použití certifikovaného svářecího materiálu
- předchozí zkušenosti výrobce
- odkazu na normalizovaný postup svařování
- předvýrobní zkoušky svařování
- zkoušky postupu svařování

O kvalifikaci postupu svařování navrženého v pWPS se provede záznam WPQR, který má formu protokolu obsahující všechny nezbytné údaje, potřebné pro kvalifikaci pWPS. Například při ověřování svařeného vzorku ve zkušebně jsou do WPQR zapisovány hodnoty mechanických zkoušek svarového spoje. Zanesením čísla WPQR do původní pWPS se z pWPS stává schválená WPS.[13]

### ***9.1 Zkoušky nutné pro kvalifikaci postupů svařování***

Postupy svařování musí být před zahájením výroby kvalifikovány. Způsob kvalifikace musí odpovídat výrobním normám, nebo ustanovením ve specifikaci výrobku. Norma ČSN EN ISO 3834 stanovuje rozsah těchto zkoušek. [13]

Postup kvalifikace svařování se provádí podle jedné z následujících norem:

**ISO 15607** – všeobecná pravidla pro stanovení a kvalifikaci postupů svařování kovových materiálů

**ISO 15610** – kvalifikace na základě vyzkoušených svařovacích materiálů

Jedná se o kvalifikaci na základě prověřených svařovacích materiálů, odzkoušených a dodaných podle odpovídajících technických předpisů, podmínek a norem. Používá se pro podobné základní materiály podle tabulek. Tato norma se nehodí pro užití tam, kde jsou požadavky na předehřev, tepelný příkon, teplotu interpass a na vrubovou houževnatost. [13]

**ISO 15611** – Kvalifikace na základě předchozí svářečské zkušenosti

Tento způsob kvalifikace se provádí na základě prokázání, že použité postupy svařování při výrobě byly způsobilé pro zhotovení svarů v takové jakosti, která je požadovaná i pro nové použití. Tuto metodu je vhodné použít tam, kde se vyskytují podobné typy svarových spojů, svařovacích parametrů a materiálů. K dispozici musí být protokoly o nedestruktivních zkouškách svarů, nebo přehled svářečské výroby po dobu jednoho roku, anebo použitelnost svarů v provozu v příslušném časovém období 5 let, není-li stanoveno jinak. [13]

**ISO 15612** – Kvalifikace na základě normalizovaného postupu svařování

Způsob kvalifikace pořízením jednotné pWPS, která je po zkoušce stanovena za normalizovanou WPS, třeba i pro více výrobců. Podmínkou je zavedení systému jakosti. Je nutné kontrolovat shodnost svařovacího procesu a vstupuovaných materiálů. Změny nebo revize vyžadují novou kvalifikaci. WPQR není vyžadována. [13]

**ISO 15613** – Kvalifikace na základě předvýrobní zkoušky svařování

Způsob kvalifikace podle zkoušky postupu svařování. Normalizovaný vzorek je nahrazen reálným polotovarem, nebo výrobkem. Dokládá se protokolem WPQR. [13]

## 9.2 Svařovací napětí

Svařovací napětí představuje rozdíl potenciálů mezi elektrodou a povrchem svarové lázně. Mění se podle délky oblouku a na tepelný výkon nemá veliký vliv. Napětí má výrazný vliv na šířku svarové housenky. Svařovací napětí se přímo nastavuje na svařovacím zdroji.

$$U = 15 + 0,035I_s [V] \quad (8.1)$$

Kde:  $U$  = svařovací napětí

$I_s$  = svařovací proud

Správné zvolení svařovacího napětí má vliv na dosažení optimální samoregulace pracovního bodu. Má také vliv na tvar a rozměry oblouku. Napětí se dá měnit v rozsahu, který umožňuje svařovací zařízení a má vliv na typ přenosu kovu v oblouku. Příliš vysoké napětí zvyšuje náchylnost pórovitost svaru a zvyšuje rozstřík. Prodlužuje také délku oblouku, svarová lázeň je mělká a vzniká nebezpečí vlivem generování množství tepla předbíhání svarové lázně před oblouk. Příliš nízké napětí zhoršuje zapálení a stabilitu oblouku. Zapříchňuje také úzké housenky a nedochází k dostatečnému natavení svarové lázně. Při vícevrstevném svařování může docházet ke studeným spojmům. [16]

## 9.3 Svařovací proud

Svařovací proud má na tvar housenky a na charakter přenosu kovu při svařování největší vliv. S růstem proudu roste proudová hustota a tím i odtavovací výkon, velikost a natavení svarové lázně a součinitel promísení. Při konstantním napětí oblouku dochází při zvyšování proudu výrazný růst hloubky závaru s malým růstem šířky housenky. Nastavení proudu se na svařovacím zařízení nastavuje dle tabulek, nebo podle zkušeností. Svařovací proud výrazně ovlivňuje charakter přenosu kovu v oblouku [16]:

- s rostoucím proudem roste i frekvence přenosu kapek
- s rostoucím proudem se zmenšuje objem kapek
- intenzita proudu ovlivňuje síly působící na kapky kovu

Z hlediska kvality svarů je vhodné volit menší průměry přídatných materiálů. Takto bude docíleno většího počtu drobných kapek, což zlepší kvalitu povrchu svarové housenky. Větší průměry jsou vhodné z hlediska směrové stability podávání drátu a z ekonomických hledisek. [16]

**WPS číslo: 1****Stanovení postupu svařování elektrickým obloukem – WPS (ČSN EN ISO 15609-1)**

Místo:

Metoda svařování výrobce:

Zkušební organizace:

Způsob přípravy a čištění:

Specifikace základního materiálu: **1.4307/S235JR**

Výrobce:

Metoda svařování: **131**

Druh svaru:

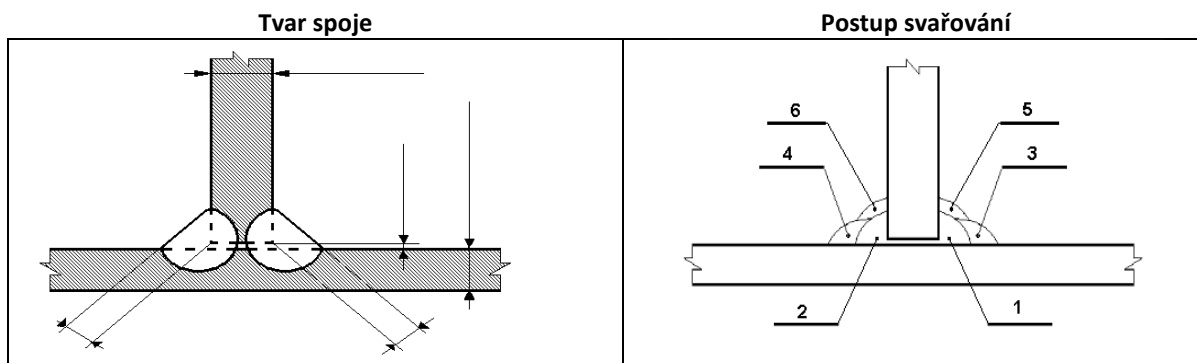
Údaje o přípravě svarových ploch:

(náčrt \*):

Svařovaná tloušťka (mm): **40**

Vnější průměr (mm):

Poloha svařování

**Parametry pro svařování**

Svarová housenka	1	2	3	4	5	6
Metoda svařování	135	135	135	135	135	135
Průměr přídatného drátu	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Svařovací proud I [A]	143	143	182	182	208	208
Svařovací napětí U [V]	16	16	17,8	17,8	18,2	18,2
Druh proudu / polarita	pulsní	pulsní	pulsní	pulsní	pulsní	pulsní
Rychlost podávání drátu [mm.s <sup>-1</sup> ]						
Rychlost posuvu pojezdu [mm.s <sup>-1</sup> ]	2,11	2,11	2,76	2,76	2,11	2,11
Tepelný příkon Q [kJ.mm <sup>-1</sup> ]	0,92	0,92	1	1	1,53	1,53

Přídavný materiál - zařazení a značka: **OK Autrod 309L**

Předpis pro sušení:

Ochranný plyn / tavidlo

■ ochranný plyn: **M12 (X50S COM 300B)**

■ ochrana kořene

Údaje o drážkování / podložení kořene:

Teplota předehřevu:

Interpass teplota:

Tepelné zpracování a / nebo stárnutí

Doba, teplota, postup:

Rychlost ohřevu a chladnutí:

Další informace:

Rozkvy (max. šířka housenky):

Rozkvy: amplituda

frekvence

doba prodlevy

Údaje pro impulsní svařování:

Údaje pro plazmové svařování:

Úhel nastavení hořáku:

Výrobce:

Zkušební orgán nebo organizace:

.....  
Jméno, datum, podpis.....  
Jméno, datum, podpis

## 10. NÁVRH KONTROL A ZKOUŠEK

Pro zajištění požadované kvality výrobku musí být do procesu výroby zavedeny v odpovídajících okamžicích výroby vhodné kontroly a zkoušky. Četnost a místo těchto kontrol závisí na dohodnutých požadavcích výrobku a na výrobcí. Výrobce může provádět zkoušky nad rámec smlouvy dle svého uvážení bez omezení. Zprávy o zkouškách nad rámec smlouvy není třeba nijak dokladovat. [13]

Kontroly se dělí na základní tři oblasti, kdy se provádějí:

- kontroly a zkoušky před svařováním
- kontroly a zkoušky během svařování
- kontroly a zkoušky po svařování

### 10.1 *Kontroly a zkoušky před svařováním*

Kontroly a zkoušky, které je nutno provést před samotným svařováním určuje norma ČSN EN ISO 3834-3. Před svařováním se musí zkontrolovat [13]:

- vhodnost a platnost osvědčení o zkouškách svářečů
- vhodnost specifikace postupu svařování
- označení základních materiálů
- označení přídavných materiálů
- příprava svarového spoje (tvar, rozměry)
- sestavení, upnutí a stehování
- jakékoliv zvláštní požadavky ve specifikaci postupu svařování (např. předcházení deformace)
- vhodnost pracovních podmínek ke svařování, včetně okolního prostředí[13]

### 10.2 *Kontroly a zkoušky během svařování*

Během svařování se musí ve vhodných intervalech, nebo průběžně monitorovat následující:

- základní svařovací parametry
- teplota předeřevu a teplota interpass
- čištění a tvar housenek a vrstev svarového kovu



- drážkování kořene
- sled svařování
- správné používání a zacházení se svařovanými a přídavnými materiály
- kontrola deformace
- každá mezioperační kontrola[13]

Kontroly a zkoušky během obloukového svařování určují normy:

- ISO 13916 – tato norma specifikuje požadavky na měření teploty přehřevu, teploty interpass a teploty ohřevu pro tavné svařování
- ISO/TR 17671-2 – norma specifikuje doporučení pro obloukové svařování kovových materiálů [13]

### **10.3      *Kontroly a zkoušky po svařování***

Norma určuje po svařování kontrolovat shodu s požadovanými kritérii:

- vizuální kontrolou
- nedestruktivní zkoušením
- destruktivní zkoušením
- kontrolou tvaru, provedení a rozměrů konstrukce
- výsledky a záznamy o zpracování po svařování (např. tepelné zpracování po svařování, stárnutí)

Pro konstrukci vakuových komor bude jako vhodně zvolit nejdříve vizuální kontrolu svarů s následnými nedestruktivními metodami zkoušení. Nejvhodnější nedestruktivní metody po svařování budou metoda penetrační, která odhalí povrchové vady svarů, jako jsou praskliny ve svarech a metoda vakuová, kterou se spolehlivě ověří těsnost celé konstrukce a tím se ověří její funkčnost.[13]

Penetrační zkouška poskytuje dobré zjišťování povrchových vad. Postup penetrační metody zkoušení je následující:

- dokonalé očištění povrchu
- nanesení zkušební penetrační kapaliny. Doba pronikání do pórů je 10-30 min
- odstranění přebytku penetrantu, nejčastěji umytím vodou
- sušení povrchu

- vyvolání indikace nanesením vývojky v podobě prášku, například Oxid zinečnatý
- prohlídka povrchu a posouzení

Zkouška těsnosti se provádí pod tlakem plynu, kdy se z komory odsaje vzduch a měří se hodnoty tlaku závislé na čase. Tato zkouška lze provádět i tak, že se komora natlakuje. Plyn použitý k natlakování může obsahovat indikační plyn, který je možno při úniku tohoto plynu indikovat měřidly a nalézt případné místo netěsnosti.[13]

#### 10.4 Hodnocení kvality svarů

Ve svařování je velice důležité dosáhnout hladkého, nezvlněného povrchu svaru. Hodnocení povrchu a kvality svarů lze rozdělit do tří úrovní [14]:

- **Vynikající** – svar je technicky celkově akceptovatelný i v nejnáročnějších aplikacích. Svar je hladký, nebo jen mírně zvlněný.
- **Dobrý** – svar je technicky přijatelným ale může vyžadovat mechanické úpravy k dosažení hladšího povrchu
- **Dostatečný** – svar může být ještě technicky přijatelný v nekritických oblastech, zvláště pokud není vidět a není vystaven koroznímu prostředí. Může vyžadovat mechanické opracování po svařování k docílení hladšího povrchu

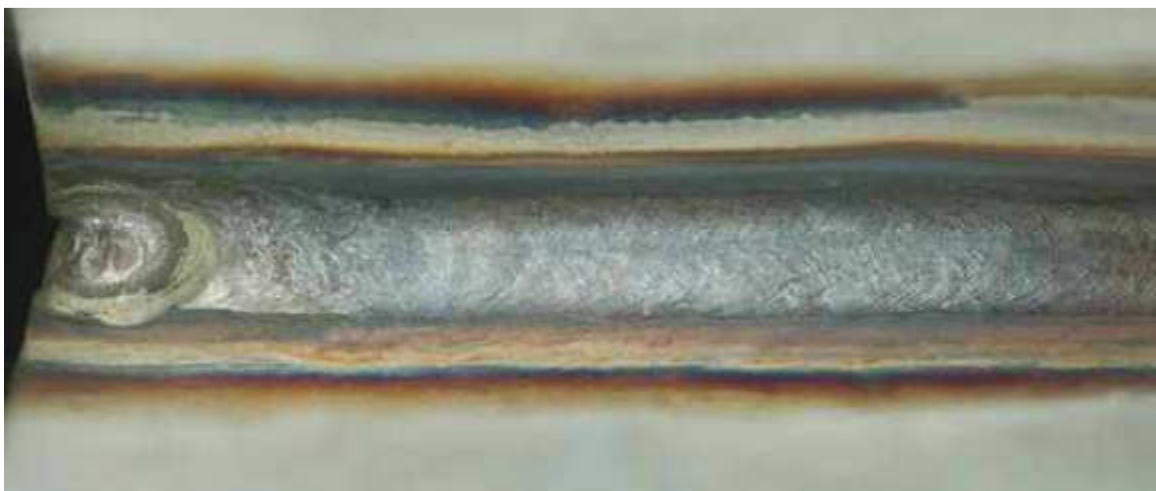
Po svařování je ve většině aplikací nutné vyčistit svar odstraněním strusky a jiných vad, s cílem obnovit odolnost proti korozi. Z tohoto důvodu je možné svary upravit broušením. Je třeba se vyhnout rozstřiku, povrchové pórovitosti, prasklinám a štěrbinám z důvodu zachování korozní odolnosti. Tyto vady se musí odstranit mechanicky.

Svar bez vad může mít ve většině případů nějakou míru geometrické odchylky v přechodové oblasti od svarového kovu k základnímu materiálu. Tyto geometrické odchylky mohou ovlivnit jakost svaru.

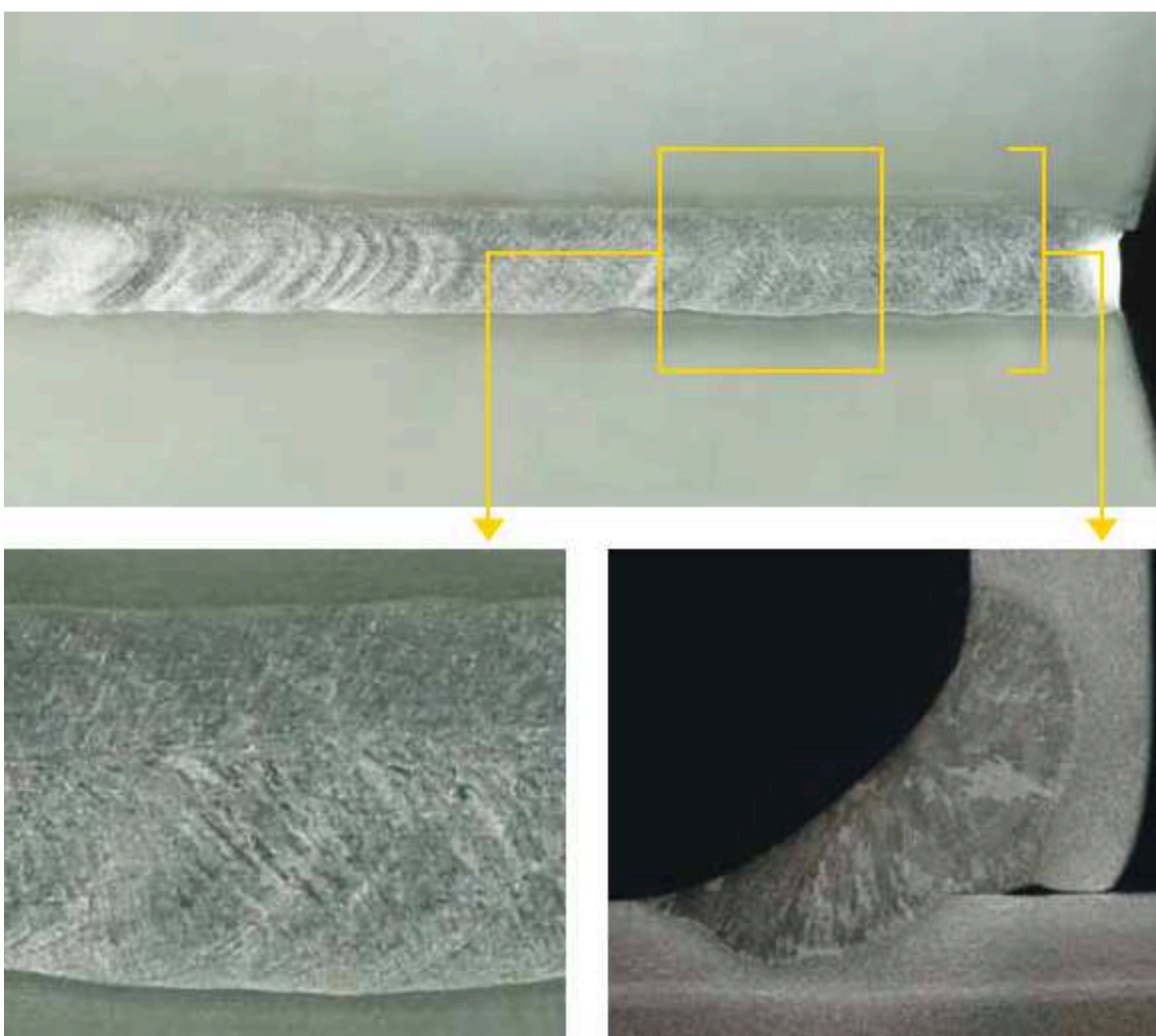
Kvalitu svarů lze porovnat s následujícími vzory svarů na fotografiích. Tyto fotografie mají poskytnout vizuální kritéria ukazující různé úrovně zhotovení svarů. Po dohodě se zákazníkem je lze použít i obchodním vztahu jako referenci jakosti.

Fotografie ukazují stavy svaru ihned po svaření, po očištění svaru, aby byla struktura lépe viditelná, v detailu svaru pro lepší znázornění a v příčném řezu pro ukázání geometrie svaru.[14]

**Vynikající úroveň:**

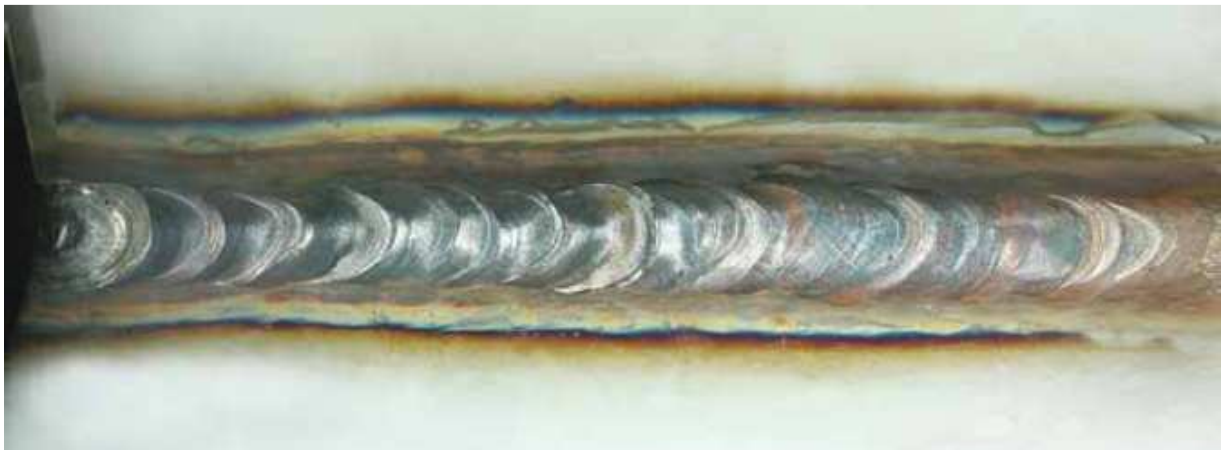


**Obr 18.** Vynikající úroveň provedení svaru. [14]

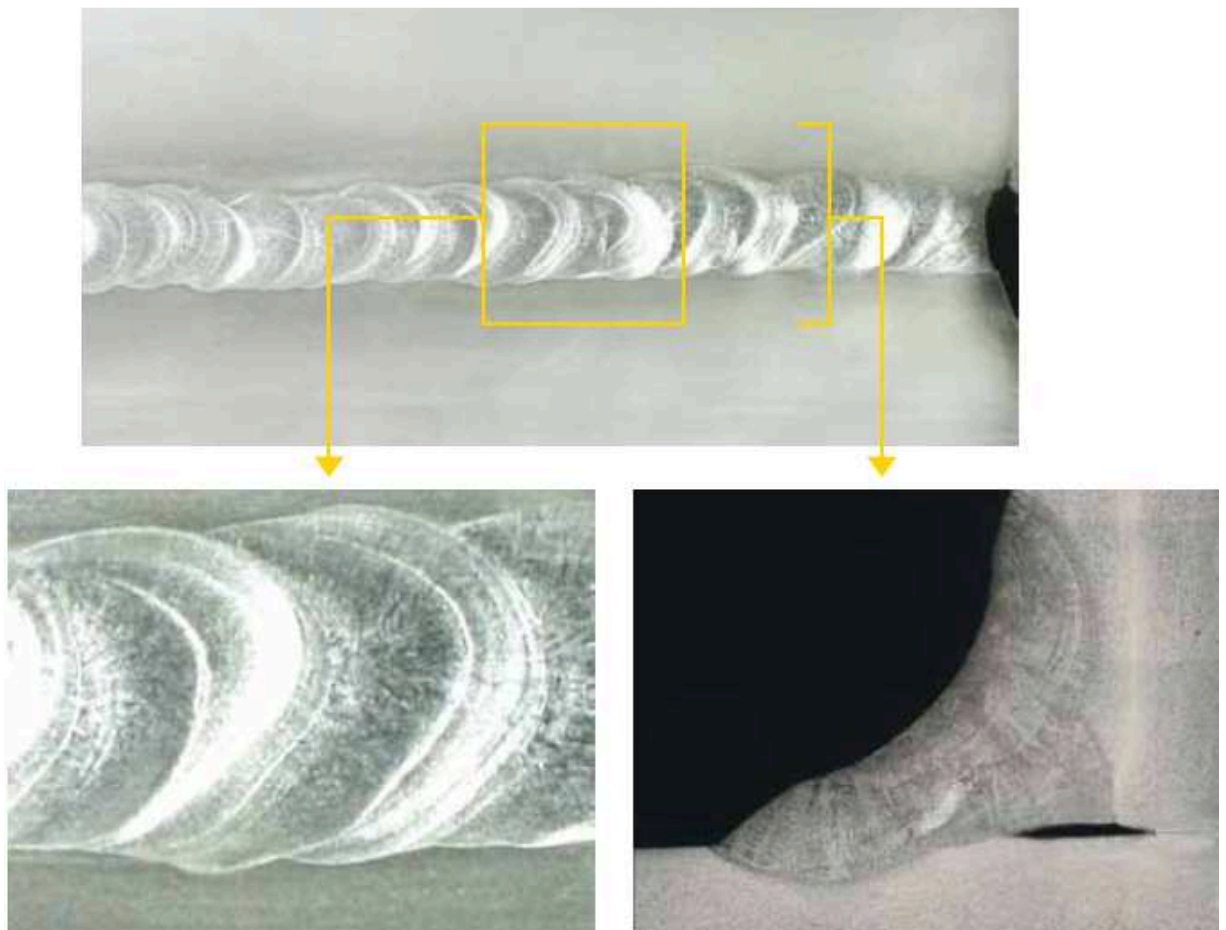


**Obr 19.** Vynikající úroveň provedení svaru, vyčištěný svar. [14]

**Dobrá úroveň:**

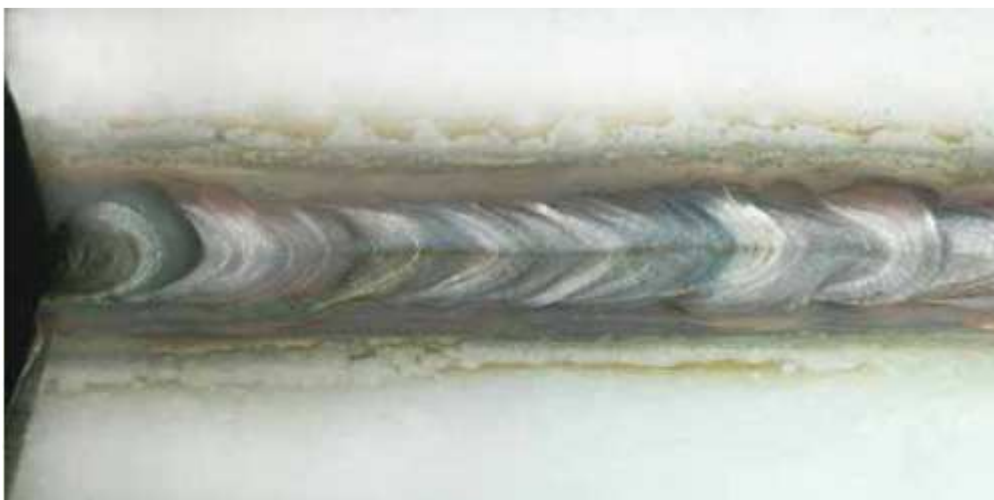


**Obr 20.** Dobrá úroveň provedení svaru. [14]

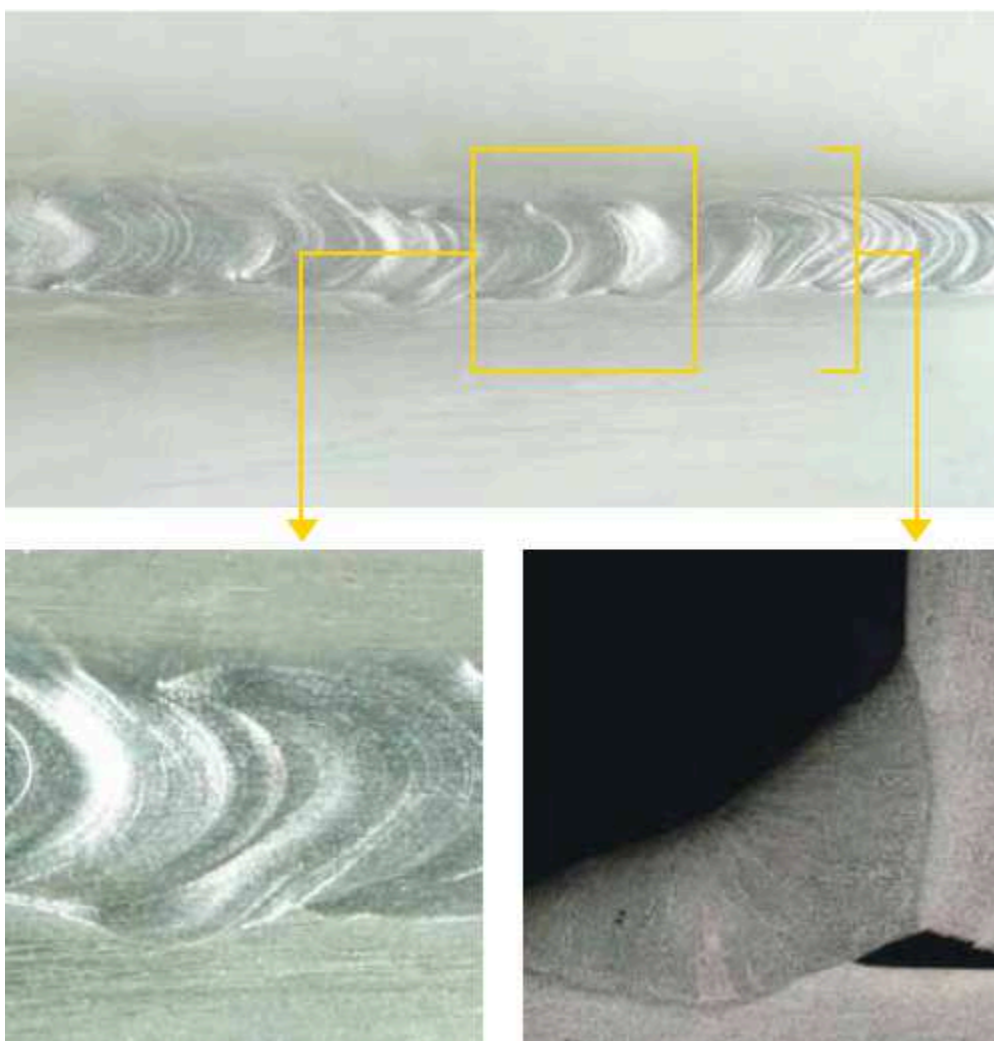


**Obr 21.** Dobrá úroveň provedení svaru, vyčištěný svar. [14]

**Dostatečná úroveň:**



**Obr 22.** Dostatečná úroveň provedení svaru. [14]



**Obr 23.** Dostatečná úroveň provedení svaru, vyčištěný svar. [14]

## 11. ZÁVĚR

V bakalářské práci je provedena analýza výroby a svařování svařovaných vakuových komor v ochranných atmosférách plynů metodami MAG a TIG. Jsou provedeny analýzy základních materiálů a přídatných materiálů a jejich vliv na vlastnosti svarového spoje, parametry a podmínky pro svařování. Je provedena analýza svařitelnosti korozivzdorných, nízkolegovaných a heterogenních aplikací svařování.

Kritickou operací při výrobě je jednoznačně svařování heterogenních spojení korozivzdorných ocelí a nelegovaného materiálu. Při této operaci je častý výskyt prasklin za horka. Výskyt těchto vad může způsobovat nevhodně zvolený postup svařování. Byl proveden výpočet ekvivalentů chromu a niklu základních materiálů a původního přídatného materiálu a následné zanesení těchto hodnot do Schaefflerova diagramu. Výsledná poloha svarového kovu se nacházela na hranici oblasti náchylnosti k prasklinám za horka. Proto byl navržen nový přídatný materiál OK Autrod 309LSi, který by měl svým vhodnějším chemickým složením napomoci polohu výsledného svarového kovu posunout dále od oblasti této náchylnosti a tím výskyt těchto vad eliminovat.

Zavedení normy ČSN EN ISO 3834 do procesu výroby by bylo velkým přínosem pro dosažení požadované kvality výroby. Tato norma poskytuje užitečný návod, jak sledovat a kontrolovat proces výroby a co je nutné v jakém okamžiku provést. Poskytuje také návod na sledování kvality pomocí nutných a doporučených zkoušek, požadavcích na jejich evidenci a dokladování. Zavedení normy a sledování procesu výroby s možností poučit se z chyb by zaručeně vedlo k celkovému pozvednutí úrovně výroby.

Byl navržen vhodný typ zkoušek a kontrol pro schválení výrobku. Penetrační zkouška je rozhodně vhodnou zkouškou pro zjištění povrchových vad svarů s dobrým způsobem dokumentace. Zkouška vakuová, požadovaná i zákazníkem, ověří funkčnost a těsnost komory.

Byl také navržen nutný rozsah zkoušek a postupů pro kvalifikaci svařování. Pyl poskytnut návod, jakými způsoby a podle kterých norem je možné kvalifikaci svařování provádět. Kvalifikované postupy svařování WPS jsou jistě nedílnou součástí výroby pro dosažení kvalitních výrobků svařovacími technologiemi.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Armat spol. s r.o. *Specifikace nerezových materiálů*. Dostupné z:  
<http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
- [2] CUNAT, Pierre-Jean. *Svařování korozivzdorných ocelí*. 39 s. ISBN 978-2-87997-177-3
- [3] LUKÁŠEK, Jaromír. *Svařování vysokolegovaných ocelí*. 2007.  
[http://www.welding.cz/vyvoj/svar\\_98/98\\_1-4.htm](http://www.welding.cz/vyvoj/svar_98/98_1-4.htm)
- [4] Euro inox. *Svařování korozivzdorných ocelí*, 2002. 28 s. ISBN 2-87997-082-2
- [5] Euro inox. *Co je korozivzdorná ocel*. Dostupné z:  
[http://www.euro-inox.org/pdf/map/What\\_is\\_Stainless\\_Steel\\_CZ.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/What_is_Stainless_Steel_CZ.pdf)
- [6] MARTINEC, Jiří. *Svařování korozivzdorných materiálů*, Spektrum 2/2004 - Obchodní technický zpravodaj ESAB VAMBERK. 1s. Dostupné z:  
[http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Korozivzd\\_2004.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Korozivzd_2004.pdf)
- [7] ESAB, *Technická příručka – Svařování nerezavějících ocelí*. Dostupné z:  
<http://products.esab.com/ESABImages/nerezy.pdf>
- [8] TIG svařování I: základní principy. 2009. Dostupné z:  
<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
- [9] VEVERKA, J. Svařování korozivzdorných ocelí: přídavné materiály ke svařování.  
[http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/svarovani\\_korozivzdornych\\_oceli\\_oerlikon.html](http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/svarovani_korozivzdornych_oceli_oerlikon.html)
- [10] KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie svařování. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/technologie\\_svarovani\\_\\_5te\\_etv\\_etv-k\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k_kubicek.pdf)
- [11] MIGWELD. Schaeffler diagram. Dostupné z:  
<http://www.migweld.de/english/service/welding-stainless-steels/schaeffler-diagram-with-different-base-materials.html>
- [12] ESAB. *Příručka svařování - Svařovací materiály pro opravy a údržbu, ilustrované aplikace*, 5. vydání, 2008, 140s.
- [13] ČSN EN ISO 3834. *Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 1. 7. 2006.
- [14] EURO INOX. *Reference Photo Guide for Stainless Steel Welds*. ISBN 978-2-87997-332-6. Dostupné z: [http://www.euro-inox.org/pdf/map/ReferencePhotoGuide\\_EN.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/ReferencePhotoGuide_EN.pdf)
- [15] AIR PRODUCTS. *Inomaxx 2*. Dostupné z:  
[http://www.airproducts.cz/metalfabrication/svarovani/pdf/CR\\_Inomaxx2.pdf](http://www.airproducts.cz/metalfabrication/svarovani/pdf/CR_Inomaxx2.pdf)
- [16] Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.[17]
- [17] Kolektiv autorů, Materiály a jejich svařitelnost. 2. vyd. Ostrava: ZEROSS – svářečské nakladatelství, 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3.

- [18] ESAB. Produkty. [online]. [cit. 23. dubna 2009]. Dostupné z:  
<http://products.esab.com/ESAB/mages/AristoTig%204000i.pdf>
- [19] MERKLE CZ S.R.O. *Pulsní svařovací zdroj PU 300K*. Dostupné z:  
[http://www.merkle-tabor.cz/data/1\\_700\\_PU300K.pdf](http://www.merkle-tabor.cz/data/1_700_PU300K.pdf)
- [20] MERKLE CZ S.R.O. *Svařovací zdroj TIG 254 AC/ DC*. Dostupné z:  
[http://www.merkle-tabor.cz/data/1\\_710\\_TIG254ACDC.pdf](http://www.merkle-tabor.cz/data/1_710_TIG254ACDC.pdf)



## Příloha A – protokol o provedení vakuové zkoušky

	<b>Prüfprotokoll</b>	Dok.Nr.: PP- VAKUU_950012_K vom : S15.DOCX
	<b>Vakuumpfung</b>	22.12.11 Seite: 1/1

Kunde: SST	Datum: 12.12.2011
Auftrag: 950 012	Lieferant:

- 1.) Überprüfung aller Dichtflächen (Achtung HV-Dichtflächen), Oberfläche auf Sauberkeit und Rautiefe prüfen.
- 2.) Verschließen aller Öffnungen mit Blinddeckel, Türe bzw. Messflansch, O-Ringe lt. Stückliste verwenden.
- 3.) Kammer mittels angeschlossenen Pumpstand min. 24 Stunden abpumpen, je nach Pumpstand sollte ein Endvakuum von  $1 \times 10^{-3}$  mbar erreicht werden.
- 4.) Nach 24 Stunden Pumpzeit wird das Absperrventil zwischen Kammer und Pumpstand geschlossen (Achtung! Messzelle auf Kammerseite anflanschen) und das erreichte Endvakuum ( $P_P$ ) notiert.
- 5.) Nach einer Zulaufzeit von ca. 1 Stunde wird der Vakuumwert ( $P_E$ ) erneut abgelesen.

Kammer	Länge	0.90 m	Anfangsdruck	8.40E-03 mBar	Messbeginn
	Breite	1.25 m	Enddruck	9.90E-03 mBar	Zulaufende
	Höhe	1.34 m			
	Durchmesser	m	<b>Zulauf P =</b>	1.50E-03 mBar	
			Zulauf-Beginn	12/12/11 8:32	0
			Zulauf-Ende	12/12/11 9:32	1:00
	<b>Volumen</b>	1508 l	<b>Zulaufzeit</b>	3600 sec.	

Berechnung der Zulaufzeit

$$\text{Leckrate} = \frac{P \times V}{t} = 6.28E-04 \text{ mBar x l / sec}$$

$$5.00E-02 \text{ mBar x l / sec}$$

maximal erlaubter Wert

Der Heliumlecktest ergab einen Wert von  $< 1 \times 10^{-7}$  mbar\*l /sec  
Die Kammer wurde vor der Zulaufmessung ca. 50 Stunden abgepumpt.

i.V. M. Ambros  
GFQ

Datei-Info:

Basiert auf Formular: PP-Vakuum vom 01.11.11

erstellt: QS genehmigt: KE